



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**KONSTRUKCE PNEUMATICKÉHO STACIONÁRNÍHO
SKLÍČIDLA**

A DESIGN OF PNEUMATIC STATIONARY CHUCK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Hurtík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Tůma, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Daniel Hurtík
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Tůma, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukce pneumatického stacionárního sklíčidla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro upínání rotačních obrobků do frézovacích center je nutné použít specializovaný přípravek, nebo stacionární sklíčidlo. Pohon sklíčidla stlačeným vzduchem je navíc vhodný zejména, pokud obráběcí stroj není vybaven hydraulickým agregátem. Cílem této práce je konstrukční návrh tohoto přídatného zařízení.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti upínání obrobků a strojních svěráků pro rotační obrobky.
Nutné výpočty pro konstrukci vlastního návrhu.
Konstrukční návrh v libovolném CAD software.
Výkresová dokumentace vybraných dílů a sestavy, CAD model.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

Schunk: Stacionární sklíčidla pro soustruhy [online], 2020. [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/upinaci-technika/category/upinaci-technika/obrabei-centrum/stacionarni-sklidla-pro-soustruhy/.

Roehm: STATIONARY VICE [online], 2020. [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: <https://www.roehm.biz/en/products/vices/stationary-vice/>.

SMW Autoblok [online], 2020. [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: https://www.smw-autoblok.de/index.php?option=com_sppagebuilder&view=page&id=67&Itemid=393&lang=en.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na konstrukci pneumatického stacionárního sklíčidla, ale také je zmíněno něco z oblasti upínání obrobků a strojních svěráků pro rotační obrobky. První část obsahuje stručnou rešerši v oblasti upínání, která se zaměřuje především na upínání rotačních součástí. Další kapitola je zaměřena na možné způsoby řešení, které by vyhovovaly našim požadavkům. Poté jsou počítány a navrhovány hlavní součásti sklíčidla, aby mohla být provedena následná konstrukce v libovolném CAD softwaru, která je obsahem další kapitoly. Nakonec jsou shrnuty některé požadavky pro provoz sklíčidla.

ABSTRACT

This Bachelor's thesis is focused on the construction of a pneumatic stationary chuck, but it also mentions something in the field of workpiece clamping and machine vices for rotating workpieces. The first part contains a brief search in the field of clamping, which focuses mainly on the clamping of rotating parts. The next chapter focuses on possible solutions that would meet our requirements. The main components of the chuck are then calculated and designed so that subsequent construction can be performed in any CAD software, which is the content of the next chapter. Finally, some requirements for chuck operation are summarized.

KLÍČOVÁ SLOVA

Upínání obrobků, upínání, pneumatické sklíčidlo, čelistové sklíčidlo

KEYWORDS

Workpiece clamping, clamping, pneumatic chuck, jaw chuck

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HURTÍK, Daniel. *Konstrukce pneumatického stacionárního sklíčidla*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132368>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jiří Tůma.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Tůmovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi pomohly k vypracování této bakalářské práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Tůmy, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 21.5.2021

.....

Hurtík Daniel

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	17
2.1	Čelist'ová silová sklíčidla [1]	17
2.2	Kleštinová silová sklíčidla	17
2.3	Pneumatická sklíčidla	18
3	UPÍNÁNÍ OBROBKŮ	19
3.1	Obecné požadavky na upínání obrobků [3]	19
3.2	Rozdělení dle vyvození upínací síly [4]	19
3.3	Upínání rotačních obrobků	19
3.3.1	Upínání do univerzálních sklíčidel [6], [7].....	20
3.3.2	Lícni desky	23
3.3.3	Kleštinové upínače	24
3.3.4	Upínací trny	25
3.3.5	Upnutí mezi hroty	27
3.3.6	Pevná a pohyblivá opěrka luneta [17]	28
3.4	Upínání nerotačních obrobků.....	28
3.4.1	Strojní svěráky	28
4	NÁVRHY MOŽNÉHO ŘEŠENÍ A VOLBA HLAVNÍCH SOUČÁSTÍ A MECHANISMŮ	31
4.1	Vnitřní mechanismus upínání	31
4.2	Upnutí a návrh čelistí.....	32
4.3	Dutina sklíčidla	33
4.4	Upnutí ke stroji	33
5	NÁVRH A VÝPOČET HLAVNÍCH SOUČÁSTÍ	35
5.1	Výpočet klínového mechanismu.....	35
5.1.1	Výpočet samosvornosti.....	35
5.1.2	Výpočet nutné velikosti síly pneumatického systému.....	36
5.1.3	Výpočet a návrh velikosti pneumatického pístu.....	37
5.1.4	Výpočet velikosti zdvihu pístu	38
5.1.5	Výpočet nutného přetlaku pro překonání odporových sil systému	39
5.1.6	Určení a výpočet stavových veličin v daných bodech cyklu.....	40
5.1.7	Výpočet rychlosti upnutí sklíčidla	41
5.1.8	Výpočet šroubů spojení podstavy a pneumatického válce	42
5.1.9	Výpočet šroubů spojení pístnice a pístu	44
6	VOLBA KONSTRUKCE – CAD MODEL.....	47
6.1	Mazání mechanismu	48
6.2	Upnutí čelistí.....	48
6.3	Upnutí ke stroji	49
6.4	Těsnění systému.....	49
6.5	Zajištění funkčnosti.....	50
6.6	Možnosti úpravy čelistí.....	51
6.7	Montáž sklíčidla.....	51
7	POUŽITELNOST SKLÍČIDLA	53
8	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	55

9	ZÁVĚR.....	57
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	59
11	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	61
11.1	Seznam tabulek.....	61
11.2	Seznam obrázků.....	61
11.3	Seznam zkratk a symbolů	62
12	SEZNAM PŘÍLOH.....	65

1 ÚVOD

Bakalářská práce se především zabývá konstrukcí pneumatického stacionárního sklíčidla. Silová sklíčidla jsou čím dál více aktuální, protože dokážou zkrátit výrobní časy a ušetří sílu obsluhy. Sklíčidlo by mělo být používáno na strojích s pracovním stolem vybaveným T-drážkami, aby při uvedení do provozu nedošlo k úrazu obsluhy nebo poškození stroje. Sklíčidlo je samostatná jednotka, protože má vlastní, interní upínací válec. Jediným zdrojem energie pro provoz je přívod tlakového vzduchu a externí řízení pomocí pneumatického obvodu.

Nejdůležitější část této práce se zabývá výběrem možných konstrukčních řešení a následně výpočtem některých z nich. Výběr je prováděn tak, aby bylo sklíčidlo co možná nejméně náročné na výrobu, bylo kompaktní, univerzální a funkčně nezávadné. Na základě výpočtů a návrhů je zkonstruováno sklíčidlo v libovolném CAD softwaru.

Na závěr je z těchto modelů zhotoven výkres sestavy a výrobní výkresy vybraných součástí. Také je zhodnocena provedená práce a jsou doporučeny jiné možnosti variant řešení.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

K upínání na CNC soustruzích se většinou využívá silových sklíčidel, a to jak hydraulických, tak pneumatických. Pro stroje jako CNC soustruhy, které mají většinou upínací válec vedený přes vřeteno, je více časté využití hydraulického upínání než pneumatického, protože dokáže vyvinout vysokých tlaků. Výhodou je dobrá regulovatelnost tlaku a jeho stálost při zatížení upínače díky nestlačitelnosti kapaliny. Avšak pro externí využití je méně časté upínání pomocí hydraulického oleje, a to z důvodu složitosti přívodu tlakového oleje než přívodu tlakového vzduchu od kompresoru.

Pro kusovou výrobu není výhodné využití silových sklíčidel, a to zejména z důvodu vysoké pořizovací ceny. Výhodnější je v tuto chvíli použití klasického mechanického sklíčidla s upínáním pomocí spirálového kola, které svou rotací posouvá čelisti s drážkami směrem k ose, a tak dojde k upnutí obrobku.

2.1 Čelist'ová silová sklíčidla [1]

K upnutí dochází pomocí tlakové kapaliny nebo vzduchu. Uvnitř sklíčidla bývá většinou využit klínový mechanismus, který má výhodu samosvornosti. Tento předpoklad zajišťuje upnutí i při výpadku energie, zatímco u sklíčidla s využitím pákového mechanismu není možné dosáhnout samosvornosti, a proto musí být zajištěn neustálý přísun tlakového oleje nebo vzduchu. Tento problém lze vyřešit pomocí vhodně zvolené akumulací nádrže.

Pro upnutí obrobku se využívá vyměnitelných čelistí, které se na nosiče čelistí upínají pomocí šroubů s T-maticemi, kdy se použije drážkování, které lze po určitých krocích posouvat vůči ose sklíčidla. Druhou možností je že se čelisti nepřesazují a je využita jen jedna drážka, kde se pomocí šroubů dosáhne upnutí čelistí ke sklíčidlu. Tyto dotyky mohou být zvoleny jako tvrdé a kalené, nebo měkké, které lze obrobit. Měkké čelisti mají výhodu nižší házivosti, protože rozměr je přesně obroben na stroji s mírnou kuželovitostí k vřetenu.

2.2 Kleštinová silová sklíčidla

Další velkou skupinu upínacích systému, tvoří kleštinová sklíčidla, která jsou určena pro upínání rotačních válcových součástí, anebo profilů ve tvaru mnohoúhelníků (např. šestihran). Výhodou tohoto systému je tuhost a přesnost upnutí, ale naopak nevýhodou je malý upínací rozsah jedné kleštiny. Poté je nutné pro pokrytí většího rozsahu rozměrů a tvarů nakoupit sady kleštin, což může být finančně náročné.

K vyvinutí upínací síly může docházet tažně, tlačně, oboustranně anebo rozpínáním. Záleží na typu stroje a požadavcích pro upnutí. K samotnému upnutí dojde tak že strojní táhlo buď tlačí nebo tahá kleštinu do kuželového pouzdra, které je negativem ke kleštině. Díky naříznutým drážkám v kleštině dojde k rovnoměrné deformaci a posunu směrem k ose, dokud nedosáhneme doteku kleštiny s obrobkem, a tak i upnutí.

Kleštiny jako takové se využívají i pro upínání nástrojů s válcovou stopkou.

2.3 Pneumatická sklíčidla

Rozhodujícím faktorem pro jejich konstrukci je typ použití, kdy může být sklíčidlo relativně v klidu upnuto na pracovním stole a tím nám odpadají dynamické složky zatížení. Druhým typem mohou být sklíčidla upnuty na obráběcích centrech tak, že dochází k jejich zatížení dynamickými účinky, nejčastěji od rotace. Při zvýšení rotace dochází ke zvyšování odstředivé síly, a tím i ke zmenšování efektivní upínací síly, která drží obrobek.

Převážně se vyrábějí s vnitřním mechanismem ve tvaru klínu, ale někteří výrobci používají i pákové mechanismy.

Tab. 1) Zjednodušená tabulka parametrů tří sklíčidel s vnitřním upínacím mechanismem od značky Bison [2]

Kód výrobku	352500070800	352500080000	352500090100
Typ	2500-400-140	2500-500-230	2500-630-325
Zdvih čelisti [mm]	19	25,4	25,7
Upínací zdvih čelisti [mm]	7	8,6	8,6
Rychlý zdvih čelisti [mm]	12	16,8	16,8
Pracovní tlak Min./Max. [MPa]	0,2/0,8	0,2/0,8	0,3/1
Upínací síla (0,6 Mpa) [kN]	130	180	200
Max. otáčky [U/min]	1300	1000	900
Váha bez horních čelistí [kg]	220,4	340,6	630
Moment setrvačnosti [kgm ²]	6,3	16,8	36

3 UPÍNÁNÍ OBROBKŮ

Při upínání obrobků je kladen velký důraz na tuhost uložení SNO (Stroj-Nástroj-Obrobek). Na tomto uložení závisí ve velkém měřítku přesnost práce a její bezpečnost.

3.1 Obecné požadavky na upínání obrobků [3]

- Správná poloha obrobku vůči nástroji
- Jednoduchost upnutí
- Bezpečnost upnutí
- Dostatečná tuhost a pevnost upnutí
- Přesnost upnutí
- Odolnost vůči vibracím
- Rychlost upínání
- Soustřednost a vyváženost rotujících částí
- Minimální náklady na upnutí
- Životnost upínacího prostředku
- Nesmí bránit proměření součásti a jiným operacím
- Nesmí bránit odchodu třísek a řezné kapaliny

3.2 Rozdělení dle vyvození upínací síly [4]

- a) Mechanické
- b) Pneumatické
- c) Hydraulické
- d) Pneumaticko-hydraulické
- e) Elektromagnetické a magnetické

3.3 Upínání rotačních obrobků

Rotační obrobky se opracovávají pomocí různých obráběcích operací, které mají odlišné pohyby nástrojů a upínacích prvků. Dle těchto operací se poté liší způsob návrhu a poté výsledného upnutí rotačního obrobku.

Nároky na upnutí obrobků na soustruhu jsou značně složitější než na jiných obráběcích strojích, a to především z hlediska toho, že upínací prvek je dynamicky namáhán. V tomto případě rotační odstředivou silou, která má snahu uvolnit upnutý obrobek. Z toho důvodu musíme zvolit takovou upínací sílu, která v klidovém stavu nezpůsobí trvalou deformaci obrobku a v provozním stavu dokáže zajistit jak přesnost, tak bezpečnost práce.

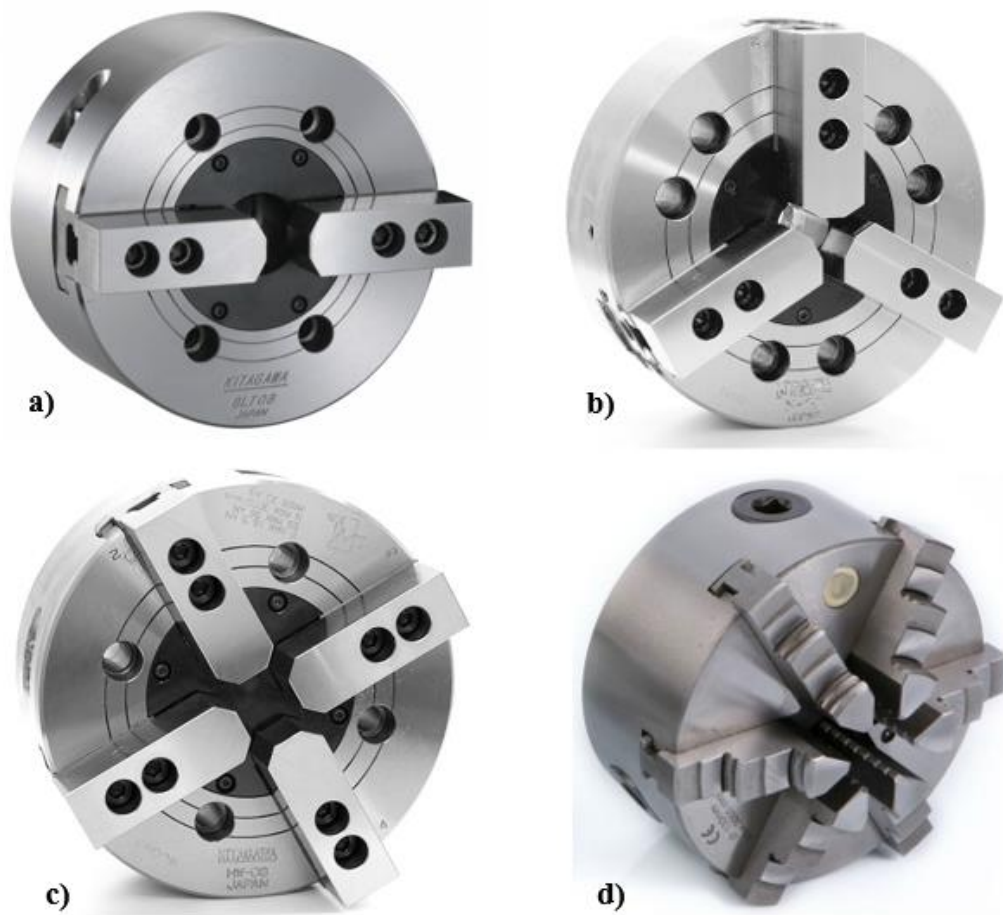
Při stacionárním upínání je upínací prvek v klidu, a proto se zde řeší pouze statická tuhost upnutí.

K upínání obrobků využíváme různých upínacích zařízení, jejichž volba nejčastěji závisí na velikosti obrobku, tvaru a operaci obrábění. [5]

3.3.1 Upínání do univerzálních sklíčidel [6], [7]

Používají se nejčastěji k upínání malých a krátkých rotačních obrobků, avšak ve spojení s upínacími hroty upevněnými v koníku nebo s lunetami je lze použít k upínání dlouhých a těžkých obrobků. Součásti lze upínat za vnější nebo vnitřní plochu.

- Dvoučelist'ová
- Tříčelist'ová
- Čtyřčelist'ová
- Šestičelist'ová
- Osmičelist'ová atd.
- Speciální:
 - rychloupínací
 - s naklápějícími čelistmi



Obr. 1) a) silové dvoučelist'ové sklíčidlo, b) silové tříčelist'ové sklíčidlo, c) silové čtyřčelist'ové sklíčidlo [8], d) manuální šestičelist'ové sklíčidlo [9]

Druhy sklíčidel dle vyvození upínací síly

- a) **Manuální sklíčidla** – Jsou ovládány ručně (manuálně) pomocí klíče ve tvaru T. Při rotaci klíče dochází pomocí ozubeného kuželového převodu mezi pastorkem a spirálovým kolem k posuvu čelistí v radiálním směru vůči ose obrobku, a to díky spirálové drážce, která je na čele prstence.



Obr. 2) Částečný řez manuálním sklíčidlem [10]

- b) **Hydraulická sklíčidla** – „Hydraulický upínací systém se skládá ze zdroje tlakové kapaliny, řídicích ventilů a upínacích hydraulických válců. Ke stlačování hydraulické kapaliny může být použita ruční pumpa, pneumaticko-hydraulický převodník nebo čerpadlo s elektrickým pohonem. Většina obráběcích strojů je vybavena tlakovým hydraulickým agregátem, který je poháněn elektromotorem. Skládá se z čerpadla, elektromotoru, zásobníku oleje, tlakového omezovacího ventilu, tlakového spínače, cestného ventilu a manometru.“ [11]



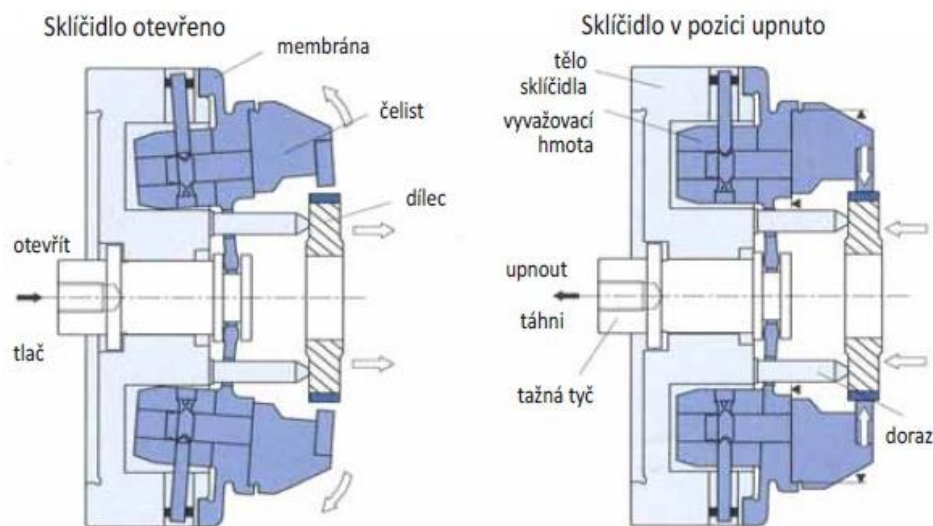
Obr. 3) Hydraulické sklíčidlo Kitagawa BR08 [8]

- c) **Pneumatická sklíčidla** – Přívod stlačeného vzduchu je omezen pouze na dobu upínání obrobku nebo jeho odepínání. Po dobu obrábění není nutné přivádět žádný tlakový vzduch do sklíčidla, protože vyvozená upínací síla při upnutí zůstává působit stále, i když je přívod vzduchu přerušen. Tuto možnost zajišťuje samosvorný mechanismus. Výhodou je, že pro upínání je vhodná běžná vzduchová pistole, která bývá standardně instalována u každého obráběcího stroje. Sklíčidla je možno používat jak u točivých, tak i u netočivých strojů. [11]



Obr. 4) Pneumatické sklíčidlo UPR 600 [8]

- d) **Membránová sklíčidla** – K upnutí obrobku zde dochází pomocí deformace membrány sklíčidla. [11]



Obr. 5) Membránové sklíčidlo SMW Autoblok [10]

Čelisti sklíčidel

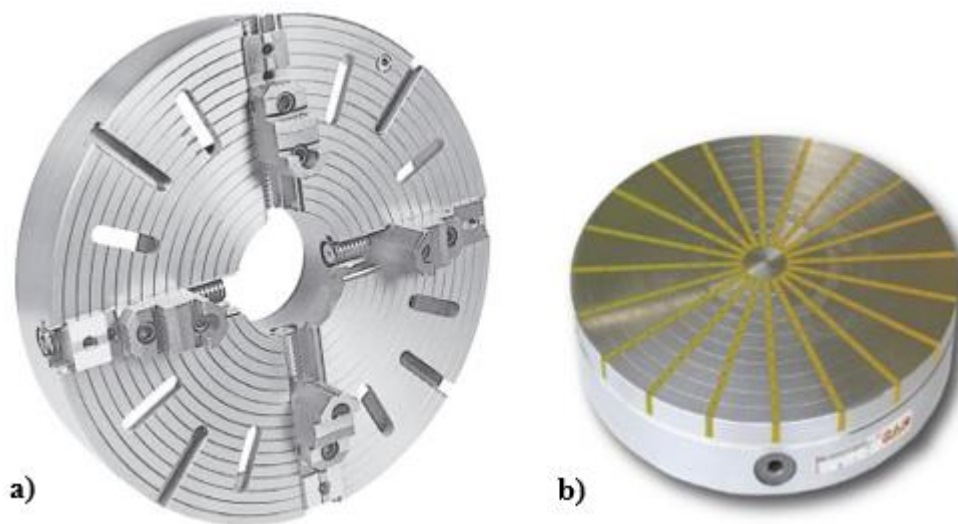
- a) Normalizované – čelisti, které jsou dané normou
- b) Nenormalizované – čelisti, které jsou upraveny přímo na stroji (obrobeny).
 Bývají z měkčího materiálu, který zaručí minimální poškození povrchu součásti a také pevné upnutí, protože je tvarový pro daný obrobek.

3.3.2 Lící desky

Lící desky jsou tvarově obdobné jako sklíčidla, ale jejich hlavní rozdíl je, že dokážou nezávisle na sobě měnit polohu čelistí. Proto dokážou upnout i nesymetrické nebo excentrické obrobky velkých rozměrů.

Lící desky používáme nejčastěji u soustružení nebo vrtání v kusové nebo malosériové výrobě, protože doba upnutí a vystředění je poměrně vysoká. [12]

Drážky na lících deskách slouží pro upínání pomocí upínek anebo pro protizávaží. Mezi speciální lící desky patří desky elektromagnetické. [13]



Obr. 6) a) univerzální lící deska, b) magnetická lící deska [14]

3.3.3 Kleštinové upínače

Kleština je kalené ocelové pouzdro, které je několikrát po obvodu naříznuto. Na konci zářezů se udělají díry z důvodu koncentrace napětí. [3]

Vrcholový úhel kužele objímky je 30° a vrcholový úhel kleštiny je větší jak $30^\circ 30'$. Funkce je zajištěna pomocí tažného šroubu, který vtáhne kleštinu do dutiny a tím se čelisti kleštiny svírají. [3], [12]

Kleštiny upínají obrobek za vnější povrch. Slouží k upínání tyčí ve tvaru kruhu, čtyřhranu nebo šestihranu menších průměrů. Vnější upínací plochy polotovaru musí mít přibližný rozměr jako vnitřní rozměry kleštiny. Nevýhodou je nutnost velké sady klestín pro pokrytí různých rozměrů a tvarů polotovarů. Výhodou je malé poškození povrchu polotovaru a rychlost upínání. [12]

Užití klestín najde velké využití v sériové a hromadné výrobě, kdy za pomoci podavače dokážou pracovat automaticky bez nutné obsluhy až do opracování celé tyče. Poté se vloží nový polotovar a operace se opakuje.



Obr. 7) Kleštinový upínač pro kleštiny DIN 6343 [15]

3.3.4 Upínací trny

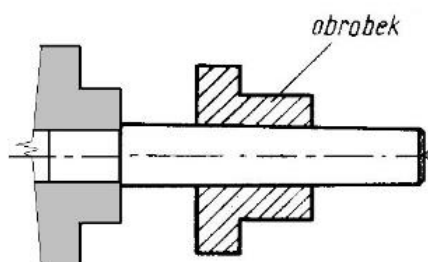
Používají se pro upínání obrobků s dírou pro obrábění na soustruzích nebo bruskách. Obrobek můžeme upnout letmo nebo mezi hroty. Při upínání obrobků pomocí díry nejsme tak omezeni jako při upínání pomocí sklíčidla nebo lícni desky. Upínací trny dosahují vysoké přesnosti vystředění a tuhosti upnutí. Princip upnutí obrobku je obdobný jako u kleštinových upínačů. [4], [16]

Rozdělení upínacích trnů [13]

- | | |
|-----------|-----------------------|
| Pevné | - kuželové trny |
| | - trny se závitem |
| Rozpínací | - na principu kleštin |
| | - s pružnými elementy |

Kuželové trny pevné

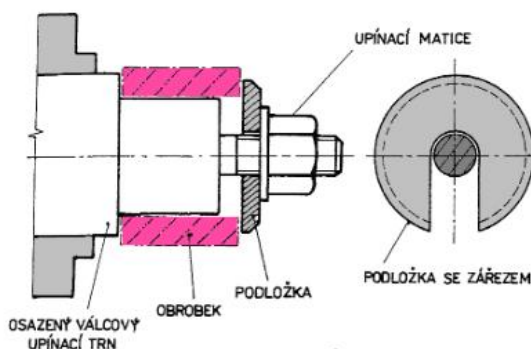
Používají se k upnutí obrobků s přesnou válcovou dírou (H6, H7). Díry by neměly být delší jak jeden a půl násobek díry. Obrobek nalisujeme na trn, kde dosáhneme vysoké centricity a tuhosti spojení. Pevné kuželové trny jsou normalizovány a pro upínání větší škály obrobků je nutnost sady. [7]



Obr. 8) Kuželový trn pevný [13]

Kuželový trn se závitem

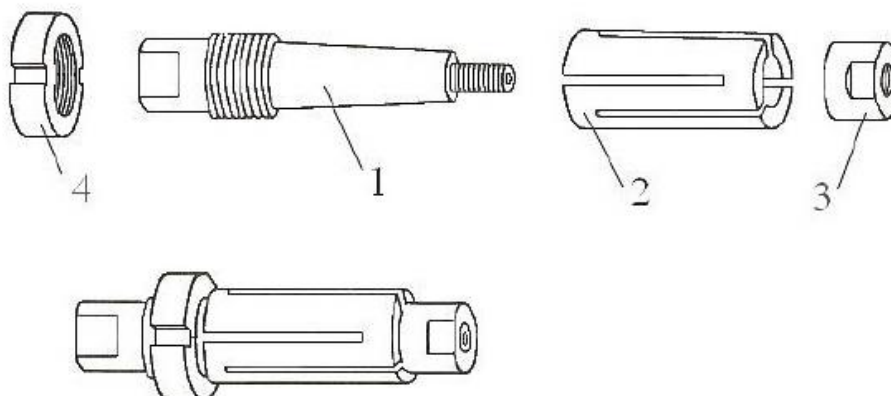
Často používaný způsob upínání, kde dosahujeme vysokých upínacích sil. Používáme nejčastěji při výrobě ozubených kol nebo řemenic. [13]



Obr. 9) Kuželový trn se závitem [13]

Rozpínací trn na principu kleštin

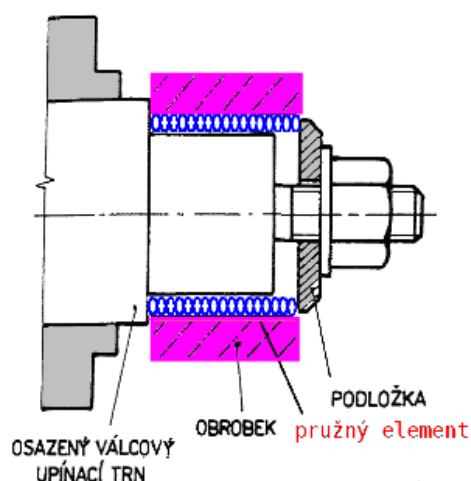
Slouží k rychlejšímu upnutí, ale dosahují nižších geometrických přesností při obrábění. Při tomto způsobu upínání není kladen velký důraz na přesnost díry jak u pevných kuželových trnů. Konstrukce rozpínacího trnu je obdobná jako u kleštiny, kdy je prvek několikrát podélně naříznut a tím je mu umožněno se lépe rozpínat. Samotné upínání probíhá tak že matice (3) nasouvá rozpínací kleštinu (2) na trn (1), který rozevře kleštinu (zvětší její vnější průměr) až do dotyku s obrobkem. Při rozebírání sestavy se povolí matice (3) a utáhne stahovací matice (4). [7], [16]



Obr. 10) Trn s rozpínacím pouzdrém [17]

Rozpínací trn s pružnými elementy

Tento způsob upínání se využívá pro obrobky s nepřesnou a špatně obrobenou dírou. Princip upnutí je, že mezi válcovou dírou a upínací trn se vloží pružný materiál (nejčastěji pryž) a pomocí podložky, která vyvodí přítlak na pružný materiál se vložka deformuje a ta vyvodí tlak na díru obrobku, který vystředí a upne. Nevýhodou je omezená životnost pružného materiálu a nízká tuhost upnutí. [13]

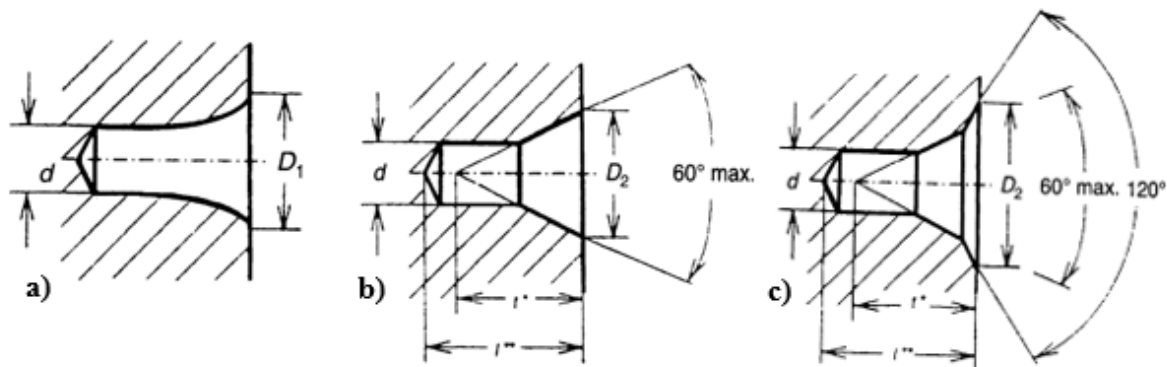


Obr. 11) Rozpínací trn s pružným elementem [13]

3.3.5 Upnutí mezi hroty

Tento typ upínání se především používá pro delší obrobky, které by při upnutí do sklíčidla nebo kleštiny neměly dostatečnou tuhost SNO (Stroj-Nástroj-Obrobek). Tím by došlo k obvodovému házení, které by znemožnilo jakékoli obrábění.

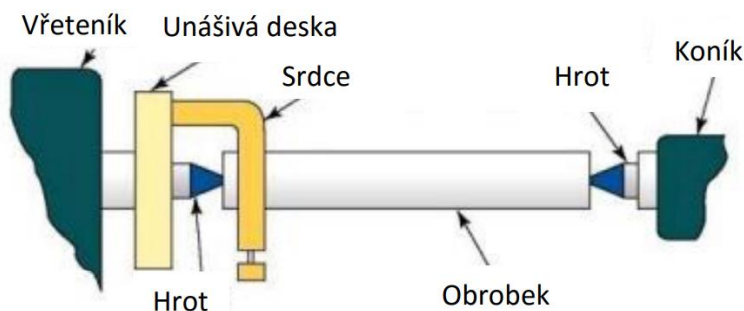
Před upnutím obrobku se musí osoustružit čela součásti, kde se následně navrtají středící důlky pomocí normalizovaných navrtávků. Středící důlky jsou normalizovány a mají tvary viz. Obr. 12). Středící důlek s ochranným zahlobením brání poškození činné části důlku při přepravě. [16]



Obr. 12) Typy středících důlků a) R s rádiusem, b) A bez ochranného zahlobení, c) B s ochranným zahlobením [18]

Obrobek s opracovanými čely je upnut pomocí středících hrotů. Na vřetenu je hrot pevný a na koníku může být pevný nebo otočný. U pevných hrotů musí být zajištěné dobré mazání, ale u vyšších otáček je doporučeno používat hroty otočné. Hrot může být odpružen. [16]

Obrobek je poháněn pomocí sestavy unášecí desky a unášecího srdce. Unášecí deska je upnuta k pohonné jednotce a unášecí srdce je připojeno pomocí šroubu k obrobku. Společně přenášejí na obrobek krouticí moment. [16]



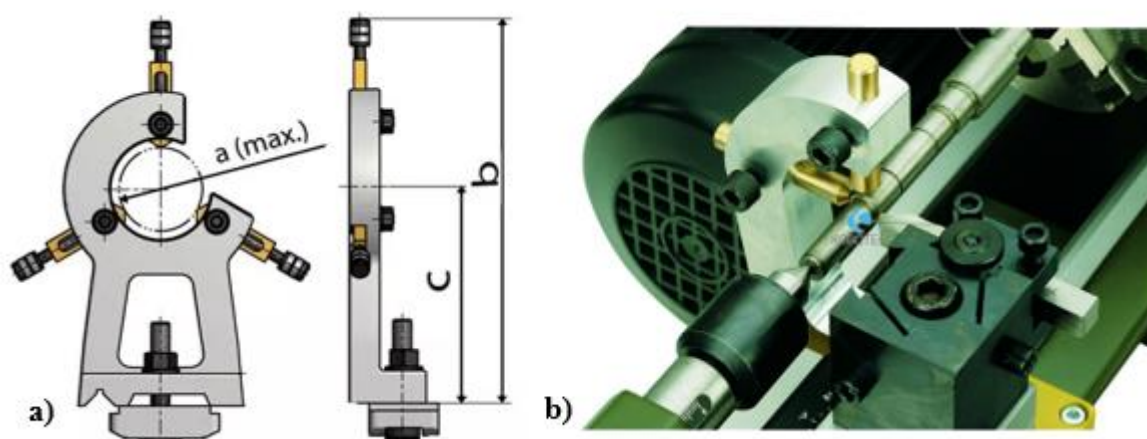
Obr. 13) Upnutí obrobku mezi hroty [17]

3.3.6 Pevná a pohyblivá opěrka luneta [17]

Lunety se používají při podepírání dlouhých štíhlých rotačních obrobku, které mají přesnou válcovitost, aby při podepření nedocházelo k vybuzení kmitání. Používáme pevné nebo posuvné lunety.

Pevná luneta – Luneta je pevně připojena k loži soustruhu. Pomocí stavěcích šroubů upevníme, tak abychom dosáhli co největší přímosti osy obrobku. Na konci stavěcích šroubů bývají opěrné kladky, bronzové podložky anebo plastové podložky.

Posuvná luneta – Luneta je pevně připojena k suportu a průběžně se pohybuje se soustružnickým nožem. Používá se zejména při hrubování, kdy dochází k vyvození velké ohybové síly, která by mohla způsobit nepřesné obrábění.



Obr. 14) a) Pevná luneta [19], b) Posuvná luneta proxxon 24406 [20]

3.4 Upínání nerotačních obrobků

Nerotační součásti nejčastěji upínáme v široké škále strojních svěráků, které mohou mít tvarové čelisti nebo čelisti univerzální. Nejčastěji používáme pro upnutí obrobků na frézkách strojní svěráky nebo stacionární sklíčidla s normalizovanými čelistmi (pro rotační) nebo tvarovými čelistmi, které jsou speciálně přizpůsobeny obrobku.

Dále lze upínat na různých speciálních upínačích např. elektromagnetických, které najdou využití u rovinného broušení.

3.4.1 Strojní svěráky

Do strojních svěráků upínáme menší a tvarově jednodušší obrobky. Při použití tvarových čelistí lze upnout i složitější obrobky. K upnutí obrobku dochází pohybem pohyblivé čelisti k čelisti pevné v radiálním směru. Svěráky se na pracovní stoly obráběcích strojů upínají pomocí šroubů se čtyřhrannou hlavou, které zapadají do T drážek pracovního stolu. [1]

Dělení svěráků dle konstrukce [3], [21]

a) Plochý svěrák

- Svěrák je uložen pevně na pracovním stole stroje tak, že jeho čelisti jsou rovnoběžně anebo kolmo k drážkám stolu.
- Někdy se tomuto svěráku říká „pevný svěrák“.

b) Otočný svěrák

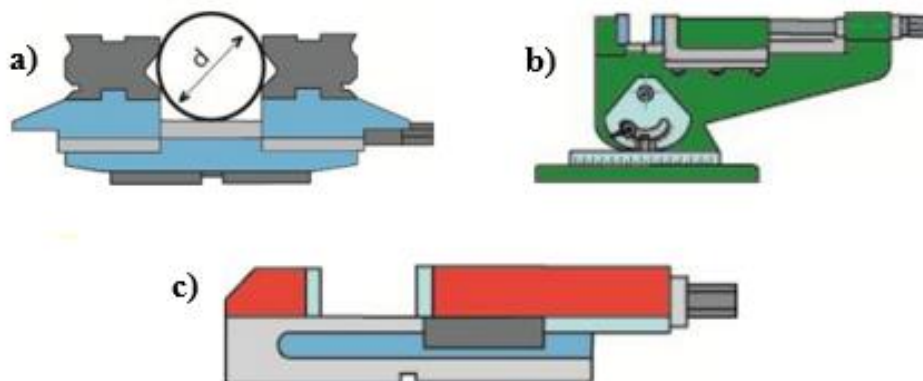
- Oproti svěráku pevnému se může poloha jeho čelistí natáčet okolo svislé osy.
- Na spodní kruhové desce má úhlovou stupnici.

c) Sklopný svěrák

- Většinou se kombinuje se svěrákem otočným a díky tomu dokáže tato kombinace rotovat jak okolo svislé, tak i vodorovné osy.

d) Prizmatický svěrák

- Většinou pro upínání rotačních obrobků, bývá samostředící.



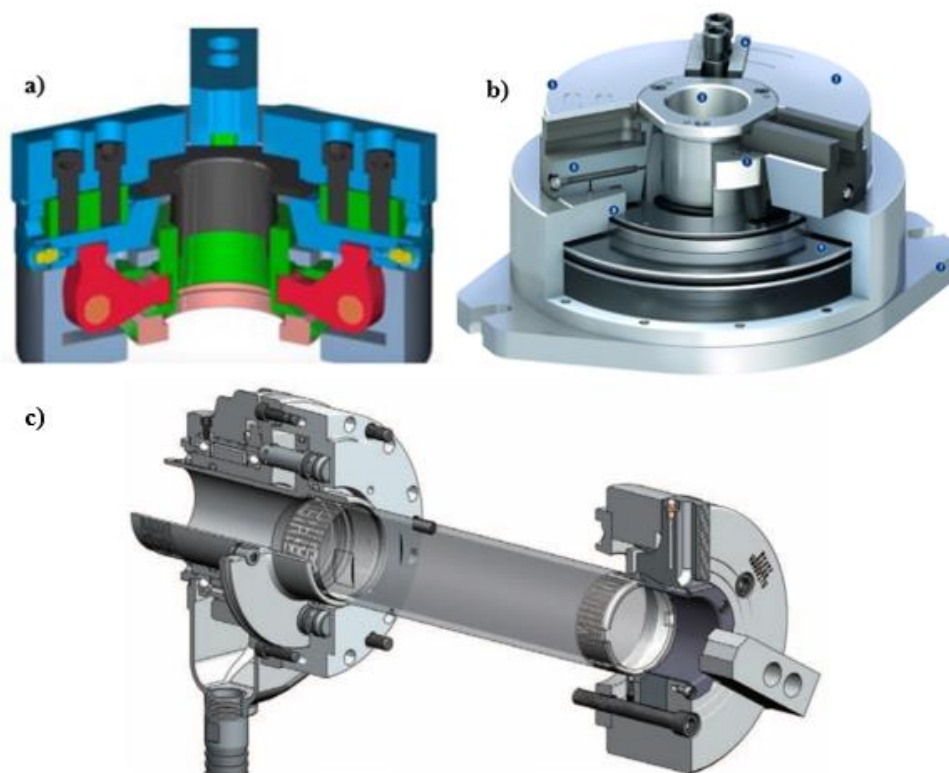
Obr. 15) a) Prizmatický svěrák, b) Kombinace sklopného a otočného svěráku, c) Plochý svěrák [21]

4 NÁVRHY MOŽNÉHO ŘEŠENÍ A VOLBA HLAVNÍCH SOUČÁSTÍ A MECHANISMŮ

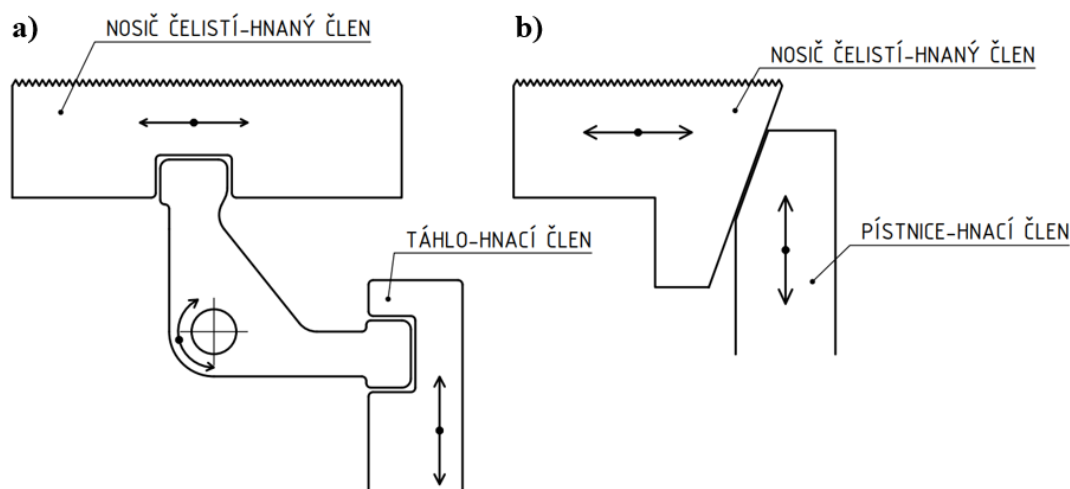
Z pohledu dynamiky dělíme sklíčidla na stacionární nebo pohyblivé. Námi zadané je sklíčidlo stacionární, a proto nám odpadá komplikace, které by způsobily dynamické účinky působící na upínací prvky. Upínacím médiem je stlačený vzduch, který má horší tuhost upnutí, a to z důvodu stlačitelnosti vzduchu, ale výhodou je menší nárok na těsnění než u hydraulicky poháněných upínačů. Silové sklíčidla mohou mít vnitřní upínací mechanismus anebo mohou být ovládány pomocí upínacího válce ve stroji.

4.1 Vnitřní mechanismus upínání

Hlavní vnitřní upínací prvky u silových sklíčidel jsou sklíčidla s pákovým mechanismem Obr. 16) a) anebo s klínovým mechanismem Obr. 16) b). Klínový mechanismus má výhodu v samosvornosti oproti pákovému a dokážeme lépe vyřešit konstrukci při použití interního upínacího válce. [1]



Obr. 16) a) silové sklíčidlo s pákovým mechanismem [1], b) silové sklíčidlo s klínovým mechanismem a interním upínacím válcem [22], c) externí hydraulický upínací válec s připojenou upínací tyčí ke sklíčidle [8]



Obr. 17) Schématické znázornění vnitřních upínacích mechanismů a) pákový mechanismus, b) klínový mechanismus

Zdůvodnění a volba: Volíme klínový mechanismus z důvodu jednoduchosti, možnosti přenosu větších sil, samosvornosti a menší šanci na opotřebení činných prvků.

4.2 Upnutí a návrh čelistí

Čelisti mohou být kalené (normalizované), nebo měkké (tvárné) a jejich tvar se napřímo vyrobí na soustruhu s menší kuželovitostí směrem k vřetenu. Při použití obrobených čelistí jsme omezeni pouze na danou operaci, pro níž byl zhotoven, ale upínací plocha je větší, proto je zde menší šance poškození povrchu. Samotné čelisti mohou být upnuty na sklíčidlo třemi způsoby. První způsob dovoluje nastavitelnost čelistí v radiálním směru, druhý a třetí upíná čelisti na pevně. První způsob využívá drážek, které bývají normalizovány a pomocí zápusťných šroubů s upínacími T-maticemi (kameny) bývají upnuty ke sklíčidlu. Druhý způsob má pouze neprůchozí díry, do kterých se upnou čelisti pomocí zápusťných šroubů. Třetí způsob je u ručních mechanických sklíčidel, které využívají spirálového kola. Čelisti jsou napřímo ve styku se spirálovým kolem pomocí tvarové drážky. [1]

Zdůvodnění a volba: Volíme první způsob, kde máme přenos síly ze sklíčidla na čelisti pomocí normalizovaného drážkování a je zde možnost jejich přestavení.

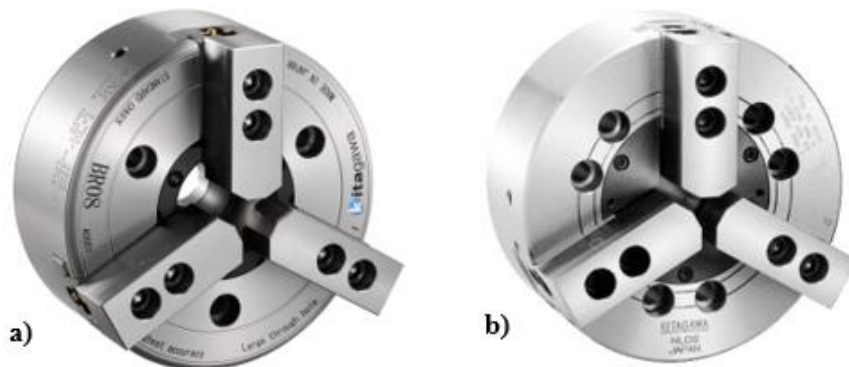


Obr. 18) Měkké čelisti KSJ-10-P (ukázka drážkování) [8]

4.3 Dutina sklíčidla

Sklíčidla mohou být s dutinou anebo bez. Dutina dovoluje obrábění delších součástí, protože dokáže redukovat délku vyložení. Sklíčidlo bez dutiny dokáže upnout dlouhé obrobky, ale vyložení obrobku je tak velké, že tuhost SNO značně ovlivňuje přesnost obrábění. Bez dutiny je sklíčidlo také tužší jako celek.

Zdůvodnění a volba: Volíme sklíčidlo s dutinou pro jeho větší univerzálnost.



Obr. 19) a) Průchozí silové sklíčidlo, b) Neprůchozí silové sklíčidlo [8]

4.4 Upnutí ke stroji

Každý upínací přípravek musí být k něčemu připevněn, aby byla pevně dána jeho poloha vůči nástroji.

Některé stroje mají normalizované upínání k vřetení např. válcové osazení DIN 6353, které je pouze pro dané vřeteno s pasujícím protikusem. [2]

Zdůvodnění a volba: Protože máme stacionární sklíčidlo tak bude využito nejčastěji na frézkách nebo vrtačkách. Pro náš případ zvolíme upnutí na frézovací obráběcí centrum s vertikálním uložením vřetene MCV 1000 Obr. 20). Na těchto strojích má pracovní stůl T-drážky s rozměry viz. Tab. 2)



Obr. 20) Frézovací stroj s vertikálním uložením vřetene MCV 1000 s možností volby vyšších maximálních otáček v závislosti na výbavě (POWER=8000 min⁻¹, RAPID=24 000 min⁻¹) [23]

Tab. 2) Část tabulky technických parametrů frézovacího stroje MCV 1000 s charakteristikami pracovního stolu [23]

TECHNICKÁ DATA		MCV 1000 POWER	MCV 1000 SPEED	MCV 1000 SPRINT	MCV 1000 RAPID
Stůl					
Upínací plocha stolu	mm	1300 × 670	1300 × 670	1300 × 670	1300 × 670
T-drážky (počet × šířka × rozteč)	mm	5 × 18 × 125	5 × 18 × 125	5 × 18 × 125	5 × 18 × 125
Maximální zatížení stolu	kg	1 200	1 200	1 200	1 200

5 NÁVRH A VÝPOČET HLAVNÍCH SOUČÁSTÍ

Vstupní požadavky: Pro samotný výpočet a návrh jsou stěžejní vstupní parametry a požadavky na upínací zařízení. Naším cílem je dosáhnout co největší kompaktnosti upínače v závislosti na jeho tuhosti a přesnosti. Tuhost upínače je jedním z primárních parametrů, které by měl splňovat, aby nedošlo k případným deformacím nebo vibracím.

Vstupní hodnoty:

Požadovaná upínací síla	F_k	80 kN
Zdvih na čelist	ΔR	3 mm
Provozní teplota	$t_{\text{prov.}}$	20 °C
Napájecí tlak	$p_{\text{nap.}}$	101,325 kPa
Tlaková ztráta	Δp	0,15 MPa
Provozní tlak	$p_{\text{prov.}}$	1 MPa
Průměr vstupního ventilu	d_v	3,3 mm

5.1 Výpočet klínového mechanismu

V našem případě jsme volili sklíčidlo s klínovým mechanismem, který násobí sílu od pneumatického pístu a přenáší jej na nosiče čelistí. Požadavky na tento klínový mechanismus jsou co největší kompaktnost při zachování samosvornosti a dostatečné tuhosti. Samosvornost má význam při havárii či jakémkoliv narušení upínacího přetlaku, kdy dokáže sklíčidlo udržet v upnuté poloze.

5.1.1 Výpočet samosvornosti

Výpočet samosvornosti je prováděn na styku dvou ocelových ploch, které jsou mazány pomocí plastického maziva a má za účel co nejvíce snížit opotřebení klínové plochy. Velikost třecího součinitele volíme z Tab. 3).

$$f > \tan(\alpha) \Rightarrow \alpha < \tan(f) \Rightarrow \alpha < \tan(0,11) \quad [^\circ] \quad (1)$$

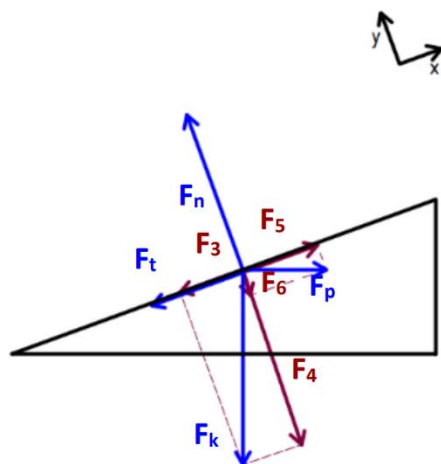
$$\alpha < 6,277 \Rightarrow \alpha < 6 \quad [^\circ]$$

Tab. 3) Součinitele smykového tření [18]

Materiál třecích ploch	Za klidu μ_0		Za pohybu μ	
	suché	mazáno	suché	mazáno
ocel – ocel	0,15 až 0,20	0,10 až 0,12	0,10 až 0,20	0,03 až 0,09
ocel – litina	0,20 až 0,30	0,13 až 0,27	0,17 až 0,18	0,05 až 0,10
ocel – bronz	0,11 až 0,15	0,10 až 0,20	0,10 až 0,15	0,005 až 0,008
litina – litina	0,25	0,16 až 0,18	0,15	0,07 až 0,15
litina – bronz	0,25	0,08	0,15 až 0,20	0,07 až 0,15
bronz – bronz	0,25	0,10 až 0,11	0,20	0,06 až 0,12
kůž – litina	0,30 až 0,60	0,12 až 0,15	0,40 až 0,60	0,12 až 0,15
pryž – asfalt	0,50 až 0,70	–	0,60 až 0,80	0,10 až 0,15
ferodo – litina	0,60 až 0,70	–	0,20 až 0,40	–
ferodo – ocel	–	–	0,50 až 0,60	0,30 až 0,50
tvrzená tkanina – ocel	–	–	0,25 až 0,40	0,03 až 0,12
polyamid – ocel	–	–	0,20 až 0,45	0,04 až 0,20
polyvinylchlorid – ocel	–	–	0,60	–

5.1.2 Výpočet nutné velikosti síly pneumatického systému

Pomocí klínového mechanismu dokážeme snížit potřebnou sílu pneumatického systému, kde je nepřímá úměra mezi velikostí úhlu sklonění klínu a velikosti vyvozené upínací síly. Naším úkolem je zjistit potřebnou velikost síly pneumatického systému pro dosažení dané upínací síly při daném úhlu sklonění klínu, který vychází z rovnice samosvornosti (1).



Obr. 21) Schéma silového zatížení klínu

Sestavíme rovnice statické rovnováhy dle

$$x: F_5 - F_t - F_3 = 0 \quad (2)$$

$$y: F_n - F_4 - F_6 = 0 \quad (3)$$

Výpočetní vztahy pro složky zatížení

$$F_t = F_n \cdot f \quad (4)$$

$$F_5 = F_p \cdot \cos(\alpha) \quad (5)$$

$$F_3 = F_k \cdot \sin(\alpha) \quad (6)$$

$$F_4 = F_k \cdot \cos(\alpha) \quad (7)$$

$$F_6 = F_p \cdot \sin(\alpha) \quad (8)$$

Dosažené odvozené vztahy složek zatížení

$$x: F_p \cdot \cos(\alpha) - F_n \cdot f - F_k \cdot \sin(\alpha) = 0 \quad (9)$$

$$y: F_n - F_k \cdot \cos(\alpha) - F_p \cdot \sin(\alpha) = 0 \quad (10)$$

$$y: F_n = F_k \cdot \cos(\alpha) + F_p \cdot \sin(\alpha) \quad (11)$$

Dosažení odvozené normálové síly do rovnice SR pro osu x

$$F_p \cdot \cos(\alpha) - f \cdot [F_k \cdot \cos(\alpha) + F_p \cdot \sin(\alpha)] - F_k \cdot \sin(\alpha) = 0 \quad (12)$$

Po vyjádření síly F_p dostáváme vztah

$$F_p = F_k \cdot \frac{f \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha)}{\cos(\alpha) - f \cdot \sin(\alpha)} \quad (13)$$

$$F_p = 80 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,11 \cdot \cos(6^\circ) + \sin(6^\circ)}{\cos(6^\circ) - 0,11 \cdot \sin(6^\circ)} = 17\,409,62 \quad [\text{N}]$$

5.1.3 Výpočet a návrh velikosti pneumatického pístu

Samotná velikost pístu bude dimenzována dle velikosti síly, kterou musí píst vyvodit při daném tlaku systému a navrženém vnitřním průchozím otvoru. Plocha pístu bude mít mezi-kruhový tvar.

Vnitřní průměr pístu

$$D_1 = 95 \quad [\text{mm}]$$

Výpočet síly se ztrátami

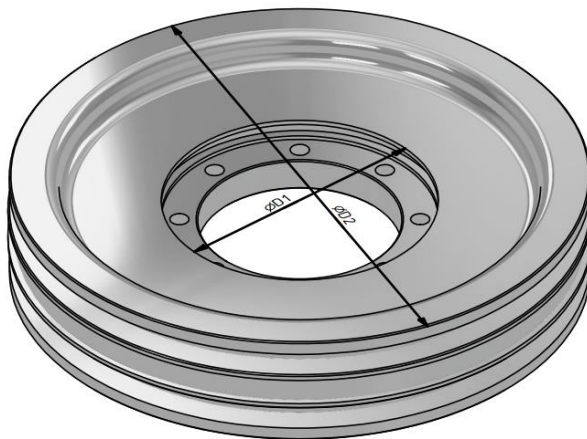
$$F_{pr} = F_p \cdot (1 + \mu) = 17\,409,62 \cdot (1 + 0,2) = 20\,891 \quad [\text{N}] \quad (14)$$

Výpočet pracovního tlaku

$$p_{vst} = (0,6 \div 1,5) = 1 - \text{volíme} \quad [\text{MPa}]$$

$$p_{ztr} = (0,1 \div 0,2) = 0,15 - \text{volíme} \quad [\text{MPa}]$$

$$p_{prac} = p_{vst} - p_{ztr} = 1 - 0,15 = 0,85 \quad [\text{MPa}]$$



Obr. 22) Schématické znázornění průměrů pneumatického pístu

Výpočet plochy mezikruží pneumatického pístu

$$S_{pis} = S_2 - S_1 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \quad [\text{m}^2] \quad (15)$$

Výpočetní vztahy pro vnější průměr pístu

$$p = \frac{F}{S} \Rightarrow p_{prac} = \frac{F_{pr}}{S_{pís}} \Rightarrow S_{pís} = \frac{F_{pr}}{p_{prac}} \quad (16)$$

Dosadíme rovnici (15) do (16)

$$\frac{F_{pr}}{p_{prac}} = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \quad (17)$$

Vyjádříme D_2

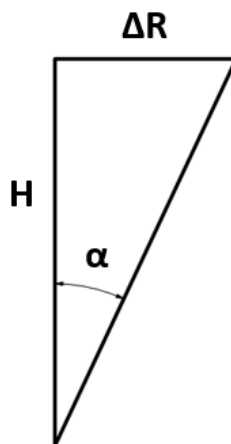
$$D_2 = \sqrt{\frac{4F_{pr}}{\pi p_{prac}} + D_1^2} \quad [\text{mm}] \quad (18)$$

$$D_2 = \left(\sqrt{\frac{4 \cdot 20\,891}{\pi \cdot 850\,000} + 0,095^2} \right) \cdot 10^{-3} \cong 200 \quad [\text{mm}]$$

5.1.4 Výpočet velikosti zdvihu pístu

Velikost zdvihu pístu závisí zejména na úhlu sklonu klínu a požadované velikosti zdvihu na jednu čelist.

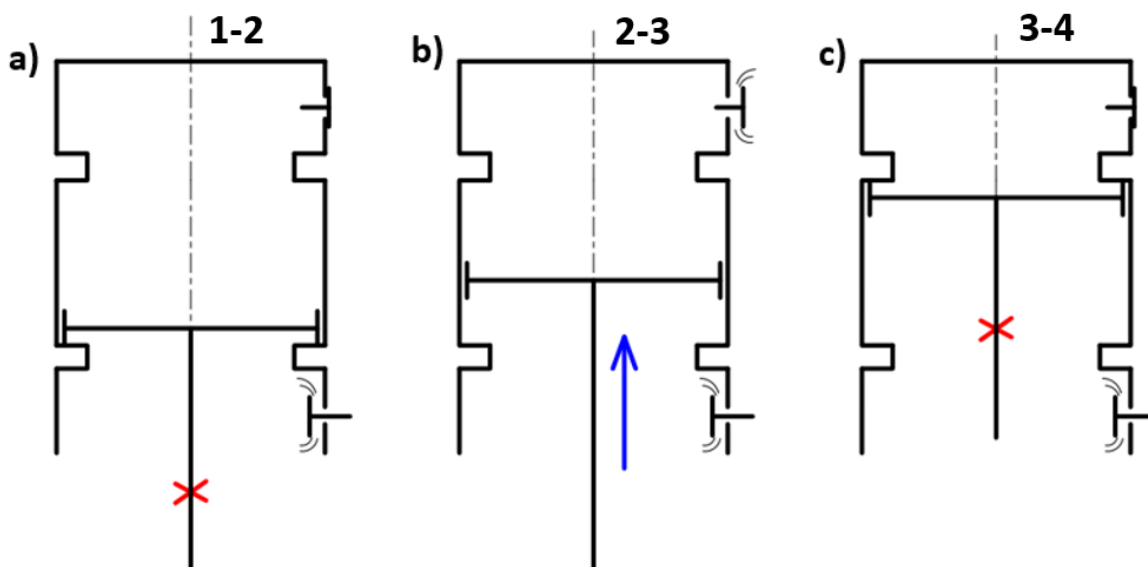
$$\tan(\alpha) = \frac{\Delta R}{H} \Rightarrow H = \frac{\Delta R}{\tan(\alpha)} = \frac{3}{\tan(6^\circ)} = 28,54 \Rightarrow 30 \quad [\text{mm}] \quad (19)$$



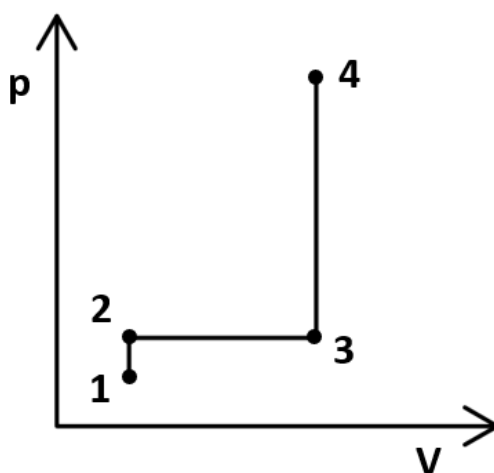
Obr. 23) Schématické znázornění rozměrů pro výpočet velikosti zdvihu pístu

5.1.5 Výpočet nutného přetlaku pro překonání odporových sil systému

V jakýchkoliv pohyblivých soustavách dochází ke ztrátám třením či jinými důsledky. Hodnota velikosti ztrát v pneumatických systémech bývá kolem 20% jmenovité síly pneomotoru, jak jsme také zvolili v rovnici (14).



Obr. 24) Zjednodušená schémata stavových změn vzduchu v pneumatickém válci při upínání
a) Izochorický děj, b) Izobarický děj, c) Izochorický děj



Obr. 25) P-V diagram stavů vzduchu při upínání v pneumatickém válci

Výpočet velikosti odporové síly pneumatického systému

$$F_T = F_{pr} - F_p = 3481,92 \quad [\text{N}] \quad (20)$$

Výpočet přetlaku $p_{2př}$

$$p_{2př} = \frac{F_T}{S_{pis}} = \frac{F_T}{\frac{\pi \cdot D_2^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}} = \frac{4 \cdot F_T}{\pi (D_2^2 - D_1^2)} = \frac{4 \cdot 3481,92}{\pi \cdot (200^2 - 95^2)} = 143\,125,9 \quad [\text{Pa}] \quad (21)$$

5.1.6 Určení a výpočet stavových veličin v daných bodech cyklu

Tlak a objem vzduchu v pracovním prostoru před upínáním (dolní úvrat')

$$p_1 = 101\,325 - \text{atmosférický} \quad [\text{Pa}]$$

$$V_1 = S_{pis} \cdot h_1 = \left(\frac{\pi \cdot D_2^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \right) \cdot h_1 \quad (22)$$

$$V_1 = \frac{\pi}{4} (0,2^2 - 0,095^2) \cdot 0,01 = 2,433 \cdot 10^{-4} \quad [\text{m}^3]$$

Provozní teplota (uvažujeme zanedbatelnou změnu teploty)

$$T_{1,2,3,4} = T_0 + t_{prov.} = 273,15 + 20 = 293,15 \quad [\text{K}] \quad (23)$$

Tlak a objem vzduchu po izochorické kompresi (dolní úvrat')

$$p_2 = p_{2př} + p_{nap.} = 62\,683,7 + 101\,325 = 164\,012,7 \quad [\text{Pa}] \quad (24)$$

$$V_2 = V_1 = 2,433 \cdot 10^{-4} \quad [\text{m}^3]$$

Tlak a objem vzduchu po izobarické expanzi (horní úvrat')

$$p_3 = p_2 = 244\,450,9 \quad [\text{Pa}]$$

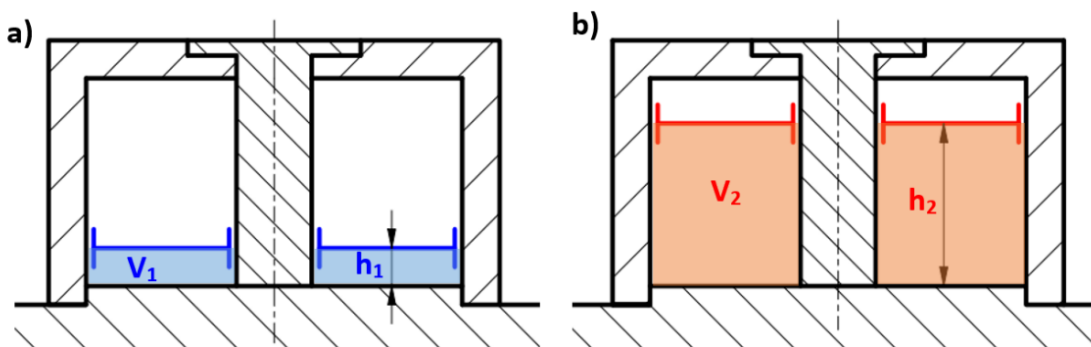
$$V_3 = S_{pis} \cdot h_2 = \left(\frac{\pi \cdot D_2^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \right) \cdot h_2 \quad (25)$$

$$V_3 = \left(\frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,095^2}{4} \right) \cdot 0,04 = 9,731 \cdot 10^{-4} \quad [\text{m}^3]$$

Tlak a objem vzduchu po vyrovnání tlaků při izochorické kompresi (horní úvrat')

$$p_4 = p_{prac} + p_{nap.} = 951\,325 \quad [\text{Pa}] \quad (26)$$

$$V_4 = V_3 = 9,731 \cdot 10^{-4} \quad [\text{m}^3]$$



Obr. 26) Schématické znázornění výšky a objemu v a) dolní úvratí, b) horní úvratí

5.1.7 Výpočet rychlosti upnutí sklíčidla

Stavové rovnice ideálního plynu v bodech 1 a 4

$$p_1 V_1 = m_1 r T_1 \Rightarrow m_1 = \frac{p_1 V_1}{r T_1} \quad (27)$$

$$p_4 V_4 = m_4 r T_4 \Rightarrow m_4 = \frac{p_4 V_4}{r T_4} \quad (28)$$

Výpočet hmotnosti vzduchu nutného dodat do válce

$$\Delta m = m_4 - m_1 = \frac{p_4 V_4}{r T_4} - \frac{p_1 V_1}{r T_1} \quad (29)$$

$$\Delta m = \frac{951\,325 \cdot 9,731 \cdot 10^{-4}}{287 \cdot 293,15} - \frac{101\,325 \cdot 2,433 \cdot 10^{-4}}{287 \cdot 293,15} = 10,71 \cdot 10^{-3} \quad [\text{kg}]$$

Výpočet velikosti objemu nutného dodat do válce o pracovním tlaku

$$p_{abs} \Delta V_{abs} = \Delta m r T \Rightarrow \Delta V_{abs} = \frac{\Delta m r T}{p_{abs}} \quad (30)$$

$$\Delta V_{abs} = \frac{10,71 \cdot 10^{-3} \cdot 287 \cdot 293,15}{951\,325} = 9,472 \cdot 10^{-4} \quad [\text{m}^3]$$

$$\Delta m_{atm} = \frac{\Delta V_{atm} p_{atm}}{r T} \quad (31)$$

$$\Delta m_{abs} = \frac{\Delta V_{abs} p_{abs}}{r T} \quad (32)$$

Sloučíme rovnice, protože víme že dodaná hmotnost do válce je stejná jako hmotnost převzatá z atmosféry

$$\Delta m_{atm} = \Delta m_{abs} \Rightarrow \Delta m = \frac{\Delta V_{atm} p_{atm}}{r T} = \frac{\Delta V_{abs} p_{abs}}{r T} \quad (33)$$

Vyjádříme objem, který je nutný převzat z atmosféry pomocí kompresoru na jedno upnutí

$$\Delta V_{atm} = \frac{\Delta V_{abs} p_{abs}}{p_{atm}} = \frac{9,472 \cdot 10^{-4} \cdot 951\,325}{101\,325} = 8,893 \cdot 10^{-3} \quad [\text{m}^3] \quad (34)$$

Zjištění druhu proudění vzduchu

$$\beta_1 = \frac{p_1}{p_4} = \frac{101\,325}{951\,325} = 0,1065 \quad [-] \quad (35)$$

$$\beta_{kr} = \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} = \left(\frac{2}{1,4 + 1} \right)^{\frac{1,4}{1,4 - 1}} = 0,528 \quad [-] \quad (36)$$

$$\beta_1 < \beta_{kr} \Rightarrow \text{Nadkritické proudění}$$

Rychlost proudění

$$w = \sqrt{2 \frac{\kappa}{\kappa + 1} \cdot p_0 \cdot v_0} \quad (37)$$

$$p_0 \cdot v_0 = r \cdot T_0 \quad (38)$$

$$w = \sqrt{2 \frac{\kappa}{\kappa + 1} \cdot r \cdot T_0} = \sqrt{2 \frac{1,4}{1,4 + 1} \cdot 287 \cdot 293,15} = 313,3 \quad [\text{m/s}] \quad (39)$$

Výpočet měrného objemu před ventilem

$$p_4 \cdot v_4 = r \cdot T_4 \quad (40)$$

$$v_4 = \frac{r \cdot T_4}{p_4} = \frac{287 \cdot (273,15 + 20)}{951\,325} = 0,08844 \quad [\text{m}^3/\text{kg}]$$

Výpočet měrného objemu za ventilem

$$p_4 \cdot v_4^\kappa = p_1 \cdot v_1^\kappa \quad (41)$$

$$p_4^{\frac{1}{\kappa}} \cdot v_4 = p_1^{\frac{1}{\kappa}} \cdot v_1$$

$$\left(\frac{p_4}{p_1}\right)^{\frac{1}{\kappa}} = \frac{v_1}{v_4}$$

$$v_1 = \left(\frac{p_4}{p_1}\right)^{\frac{1}{\kappa}} \cdot v_4 = \left(\frac{951\,325}{101\,325}\right)^{\frac{1}{1,4}} \cdot 0,08844 = 0,4379 \quad [\text{m}^3/\text{kg}]$$

Výpočet hmotnostního průtoku z rovnice kontinuity

$$\dot{m} = \frac{S_v \cdot w}{v_1} = \frac{\frac{\pi d_v^2}{4} \cdot w}{v_1} = \frac{\frac{\pi \cdot 3,3^2}{4} \cdot 313,3}{0,4379} = 6,119 \cdot 10^{-3} \quad [\text{kg/s}] \quad (42)$$

Výpočet času upnutí

$$t_{up} = \frac{\Delta m}{\dot{m}} = \frac{10,71 \cdot 10^{-3}}{6,119 \cdot 10^{-3}} \cong 1,75 \quad [\text{s}] \quad (43)$$

5.1.8 Výpočet šroubů spojení podstavy a pneumatického válce

Velikost síly v ose podstavy při rozepnutí

$$D_3 = 70 - \text{vnější průměr vodícího válce} \quad [\text{mm}]$$

$$F_{os} = p_{prac} \cdot S_{pod} = p_{prac} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_2^2 - D_3^2) \quad (44)$$

$$F_{os} = 850\,000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,2^2 - 0,07^2) = 23\,432 \quad [\text{N}]$$

Výpočtový průřez šroubu (pro M8)

$$A_s = 36,6 \quad [\text{mm}^2]$$

Velikost zkušebního napětí pro značku šroubu 8.8

$$S_p = 580 \quad [\text{MPa}]$$

Síla předpětí (uvažujeme pro nerozebíratelné spojení) [24]

$$F_i = 0,9 \cdot A_s \cdot S_p = 0,9 \cdot 36,6 \cdot 580 = 19\,105,2 \quad [\text{N}] \quad (45)$$

Součinitel úpravy povrchu šroubu (pro mazaný spoj)

$$K = 0,18 \quad [-]$$

Nutný utahovací moment pro dosažení síly předpětí [24]

$$M_{ut} = K \cdot F_i \cdot d = 0,18 \cdot 19\,105,2 \cdot 8 = 27,51 \quad [\text{Nm}] \quad (46)$$

Zvolený počet šroubů

$$i = 8$$

Modul pružnosti v tahu pro ocel

$$E_{ocel} = 207 \cdot 10^3 \quad [\text{MPa}]$$

Charakteristiky šroubu ISO 4762 - M8 x 35 pro výpočet

$d = 8$ – vnější průměr závitu [mm]

$l_{\text{šroub}} = 35$ – délka šroubu [mm]

$l_g = 3,125$ – délka dřívku [mm]

$l_b = 31,875$ – délka závitové části [mm]

Tuhost šroubu [24]

$$k_s = \frac{S_d \cdot A_s \cdot E_{\text{ocel}}}{S_d \cdot l_b + A_s \cdot l_g} = \frac{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot A_s \cdot E_{\text{ocel}}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l_b + A_s \cdot l_g} = \frac{\frac{\pi \cdot 8^2}{4} \cdot 36,6 \cdot 207 \cdot 10^3}{\frac{\pi \cdot 8^2}{4} \cdot 31,875 + 36,6 \cdot 3,125} = 221\,847 \quad [\text{N/mm}] \quad (47)$$

Tuhost přírub [24]

$t_{k1} = 9,5$ – tloušťka příruby 1 [mm]

$D_{k1} = 12,2$ – průměr 1. komolého kužele [mm]

$d_{\text{vrt}} = 8,4$ – průměr vyvrtané díry v podstavě [mm]

$\beta = 30$ – polovina vrcholového úhlu komolého kužele [°]

$l_s = t_{k1} + \frac{d}{2} = 9,5 + \frac{8}{2} = 13,5$ – účinná svěrná délka [mm] (48)

(platí pro „tloušťka příruby 2“ $\geq d$)

$$l_1 = \frac{l_s}{2} = \frac{13,5}{2} = 6,75 \quad [\text{mm}] \quad (49)$$

$$l_2 = t_{k1} - l_1 = 9,5 - 6,75 = 2,75 \quad [\text{mm}] \quad (50)$$

$$l_3 = l_s - t_{k1} = 13,5 - 9,5 \quad [\text{mm}] \quad (51)$$

$$D_{k2} = D_{k1} + 2 \cdot (l_s - t_{k1}) \cdot \tan(\alpha) \quad [\text{mm}] \quad (52)$$

$$D_{k2} = 12,2 + 2 \cdot (13,5 - 9,5) \cdot \tan(30) = 16,82 \quad [\text{mm}]$$

$$k_{\text{kom}} = \frac{F}{\delta} = \frac{\pi \cdot E \cdot d \cdot \tan(\beta)}{\ln\left(\frac{(2 \cdot t_k \cdot \tan(\beta) + D_k - d) \cdot (D_k + d)}{(2 \cdot t_k \cdot \tan(\beta) + D_k + d) \cdot (D_k - d)}\right)} \quad (53)$$

- rovnice pro výpočet tuhosti komolého kužele

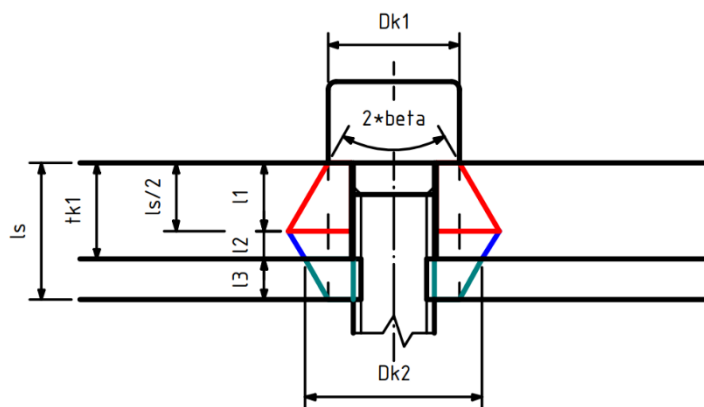
$$k_{\text{kom1}} = \frac{\pi \cdot 207 \cdot 10^3 \cdot 8,4 \cdot \tan(30)}{\ln\left(\frac{(2 \cdot 6,75 \cdot \tan(30) + 12,2 - 8,4) \cdot (12,2 + 8,4)}{(2 \cdot 6,75 \cdot \tan(30) + 12,2 + 8,4) \cdot (12,2 - 8,4)}\right)} = 472\,503 \quad [\text{N/mm}]$$

$$k_{\text{kom2}} = \frac{\pi \cdot 207 \cdot 10^3 \cdot 8,4 \cdot \tan(30)}{\ln\left(\frac{(2 \cdot 2,75 \cdot \tan(30) + 16,82 - 8,4) \cdot (16,82 + 8,4)}{(2 \cdot 2,75 \cdot \tan(30) + 16,82 + 8,4) \cdot (16,82 - 8,4)}\right)} = 1\,863\,827 \quad [\text{N/mm}]$$

$$k_{\text{kom3}} = \frac{\pi \cdot 207 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot \tan(30)}{\ln\left(\frac{(2 \cdot 9,5 \cdot \tan(30) + 12,2 - 8) \cdot (12,2 + 8)}{(2 \cdot 9,5 \cdot \tan(30) + 12,2 + 8) \cdot (12,2 - 8)}\right)} = 700\,632 \quad [\text{N/mm}]$$

$$\frac{1}{k_{\text{cel}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} \Rightarrow k_{\text{cel}} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{k_2 \cdot k_3 + k_1 \cdot k_3 + k_1 \cdot k_2} = 245\,086 \quad [\text{N/mm}] \quad (54)$$

- rovnice stejná jak pro sériově řazené pružiny



Obr. 27) Schématické znázornění tvaru komolého kužele a jeho rozměry

Tuhostní konstanta [24]

$$c = \frac{k_s}{k_s + k_p} = \frac{221\,847}{221\,847 + 245\,086} = 0,4751 \quad [-] \quad (55)$$

Bezpečnost vůči zániku sevření [24]

$$k_{sev} = \frac{F_i}{\frac{F}{i} \cdot (1-c)} = \frac{19\,105,2}{\frac{23\,432}{8} \cdot (1-0,4751)} = 12,43 \quad [-] \quad (56)$$

Bezpečnost vůči MSP-zkušebnímu napětí [24]

$$k_{msp} = \frac{S_p \cdot A_s - F_i}{\frac{F}{c \cdot i}} = \frac{580 \cdot 36,6 - 19\,105,2}{0,4751 \cdot \frac{23\,432}{8}} = 1,53 \quad [-] \quad (57)$$

5.1.9 Výpočet šroubů spojení pístnice a pístu

Velikost síly v ose pístu při upnutí

$$F_{os} = p_{prac} \cdot S_{pís} = p_{prac} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_2^2 - D_1^2) \quad (58)$$

$$F_{os} = 850\,000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,2^2 - 0,095^2) = 20\,678,6 \quad [\text{N}]$$

Výpočtový průřez šroubu (pro M6)

$$A_s = 20,1 \quad [\text{mm}^2]$$

Velikost zkušebního napětí pro značku šroubu 12.9

$$S_p = 970 \quad [\text{MPa}]$$

Síla předpětí (uvažujeme pro nerozebíratelné spojení) [24]

$$F_i = 0,9 \cdot A_s \cdot S_p = 0,9 \cdot 20,1 \cdot 970 = 17\,547,3 \quad [\text{N}] \quad (59)$$

Součinitel úpravy povrchu šroubu (pro mazaný spoj)

$$K = 0,18 \quad [-]$$

Nutný utahovací moment pro dosažení síly předpětí [24]

$$M_{ut} = K \cdot F_i \cdot d = 0,18 \cdot 17\,547,3 \cdot 6 = 18,951 \quad [\text{Nm}] \quad (60)$$

Zvolený počet šroubů

$$i = 8 \quad [-]$$

Modul pružnosti v tahu

$$E_{ocel} = 207 \cdot 10^3 \quad [\text{MPa}]$$

$$E_{hliník} = 71 \cdot 10^3 \quad [\text{MPa}]$$

Charakteristiky šroubu ISO 4762 – M6 x 20 pro výpočet

$$d = 6 - \text{vnější průměr závitu} \quad [\text{mm}]$$

$$l_{\text{šroub}} = 20 - \text{délka šroubu} \quad [\text{mm}]$$

$$l_g = 2,5 - \text{délka dřívku} \quad [\text{mm}]$$

$$l_b = 17,5 - \text{délka závitové části} \quad [\text{mm}]$$

Tuhost šroubu [24]

$$k_s = \frac{S_d \cdot A_s \cdot E_{ocel}}{S_d \cdot l_b + A_s \cdot l_g} = \frac{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot A_s \cdot E_{ocel}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l_b + A_s \cdot l_g} = \frac{\frac{\pi \cdot 6^2}{4} \cdot 20,1 \cdot 207 \cdot 10^3}{\frac{\pi \cdot 6^2}{4} \cdot 17,5 + 20,1 \cdot 2,5} = 215\,835 \quad [\text{N/mm}] \quad (61)$$

Tuhost přírub [24]

$$t_{k1} = 5,2 - \text{tloušťka příruby 1} \quad [\text{mm}]$$

$$D_{k1} = 10 - \text{průměr 1. komolého kužele} \quad [\text{mm}]$$

$$d_{vrt} = 6,6 - \text{průměr vyvrtané díry v pístu} \quad [\text{mm}]$$

$$\beta = 30 - \text{polovina vrcholového úhlu komolého kužele} \quad [^\circ]$$

$$l_s = t_{k1} + \frac{d}{2} = 5,2 + \frac{6}{2} = 8,2 - \text{účinná svěrná délka} \quad [\text{mm}] \quad (62)$$

(platí pro „tloušťka příruby 2“ $\geq d$)

$$l_1 = \frac{l_s}{2} = \frac{8,2}{2} = 4,1 \quad [\text{mm}] \quad (63)$$

$$l_2 = t_{k1} - l_1 = 5,2 - 4,1 = 1,1 \quad [\text{mm}] \quad (64)$$

$$l_3 = l_s - t_{k1} = 8,2 - 5,2 = 3 \quad [\text{mm}] \quad (65)$$

$$D_{k2} = D_{k1} + 2 \cdot (l_s - t_{k1}) \cdot \tan(\alpha) \quad [\text{mm}] \quad (66)$$

$$D_{k2} = 10 + 2 \cdot (8,2 - 5,2) \cdot \tan(30) = 13,46 \quad [\text{mm}]$$

$$k_{kom} = \frac{F}{\delta} = \frac{\pi \cdot E \cdot d \cdot \tan(\beta)}{\ln\left(\frac{(2 \cdot t_k \cdot \tan(\beta) + D_k - d) \cdot (D_k + d)}{(2 \cdot t_k \cdot \tan(\beta) + D_k + d) \cdot (D_k - d)}\right)} \quad (67)$$

- rovnice pro výpočet tuhosti komolého kužele

$$k_{kom1} = \frac{\pi \cdot 71 \cdot 10^3 \cdot 6,6 \cdot \tan(30)}{\ln\left(\frac{(2 \cdot 4,1 \cdot \tan(30) + 10 - 6,6) \cdot (10 + 6,6)}{(2 \cdot 4,1 \cdot \tan(30) + 10 + 6,6) \cdot (10 - 6,6)}\right)} = 207\,242 \quad [\text{N/mm}]$$

$$k_{kom2} = \frac{\pi \cdot 71 \cdot 10^3 \cdot 6,6 \cdot \tan(30)}{\ln\left(\frac{(2 \cdot 1,1 \cdot \tan(30) + 13,46 - 6,6) \cdot (13,46 + 6,6)}{(2 \cdot 1,1 \cdot \tan(30) + 13,46 + 6,6) \cdot (13,46 - 6,6)}\right)} = 1\,188\,021 \quad [\text{N/mm}]$$

$$k_{kom3} = \frac{\pi \cdot 207 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot \tan(30)}{\ln\left(\frac{(2 \cdot 3 \cdot \tan(30) + 10 - 6) \cdot (10 + 6)}{(2 \cdot 3 \cdot \tan(30) + 10 + 6) \cdot (10 - 6)}\right)} = 877\,588 \quad [\text{N/mm}]$$

$$\frac{1}{k_{cel}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} \Rightarrow k_{cel} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{k_2 \cdot k_3 + k_1 \cdot k_3 + k_1 \cdot k_2} = 146\,918 \quad [\text{N/mm}] \quad (68)$$

- rovnice stejná jak pro sériově řazené pružiny

Tuhostní konstanta [24]

$$c = \frac{k_s}{k_s + k_p} = \frac{215\,835}{215\,835 + 146\,918} = 0,595 \quad [-] \quad (69)$$

Bezpečnost vůči zániku sevření [24]

$$k_{sevř} = \frac{F_i}{\frac{F}{i} \cdot (1-c)} = \frac{17\,547,3}{\frac{20\,678,6}{8} \cdot (1-0,595)} = 16,76 \quad [-] \quad (70)$$

Bezpečnost vůči MSP-zkušebnímu napětí [24]

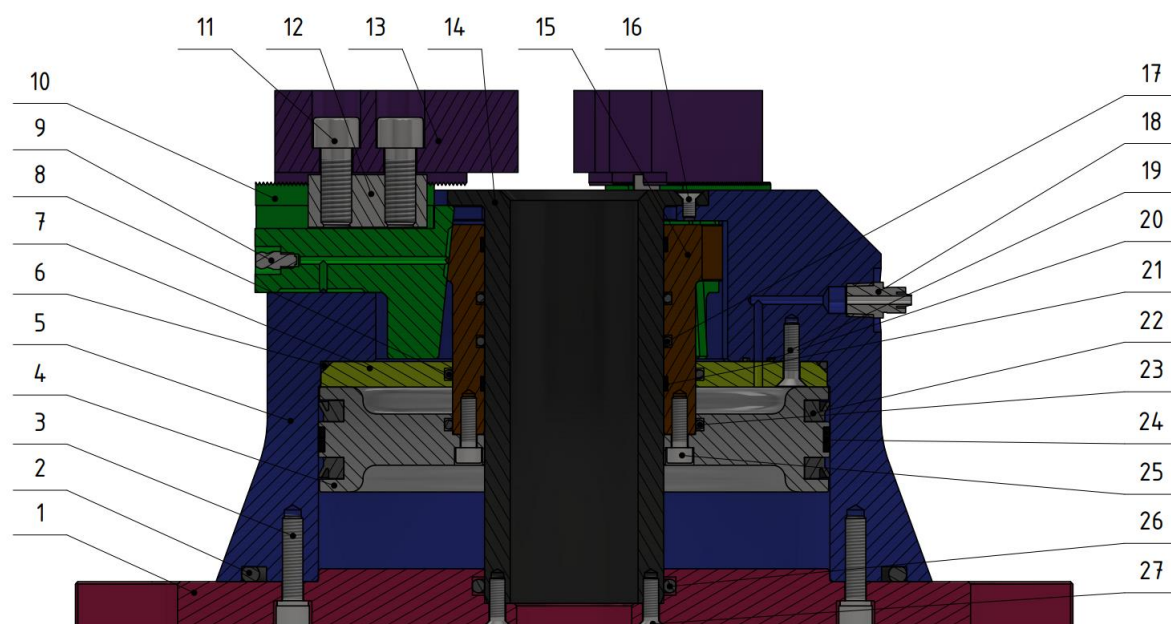
$$k_{msp} = \frac{S_p \cdot A_s - F_i}{c \cdot \frac{F}{i}} = \frac{970 \cdot 20,1 - 17\,547,3}{0,595 \cdot \frac{20\,678,6}{8}} = 1,27 \quad [-] \quad (71)$$

6 VOLBA KONSTRUKCE – CAD MODEL

V této části se budeme zabývat samotnou zvolenou konstrukcí, která má základ na výpočtech z předchozí kapitoly.

Velikost síly je nastavitelná pouze pomocí změny vstupního tlaku, který je však omezen na určitou hodnotu, kdy upínač funguje a kdy je to ještě bezpečné, jak z ohledu příliš velkého zvýšení tlaku, a tím způsobeným selháním upínače anebo příliš nízkého tlaku, kdy selže upnutí obrobku při obrábění.

Samotné upínání je provedeno tak, že se tlakový vzduch dostává nad píst (4) prostřednictvím ventilu (18). Tahová síla od pístu je přenášena na pístnici (15), která má obrobenou drážku ve tvaru klínu, do které je zasazen nosič čelistí (10) a pomocí přímočarého pohybu pístnice (15) směrem dolů dochází k přenosu síly pomocí klínu na nosič čelistí (10). Na nosiči čelistí jsou připevněny pomocí T-matic (12) a šroubů (11) měkké čelisti (13), na které je přenášena síla z nosičů čelistí (10), a tím dochází k jejich pohybu a následnému upnutí obrobku. Rozepínání čelistí funguje analogicky, kdy je tlakový vzduch přiváděn do spodu pístu skrze ventil Obr. 29).



Obr. 28) Řez modelem sklíčidla



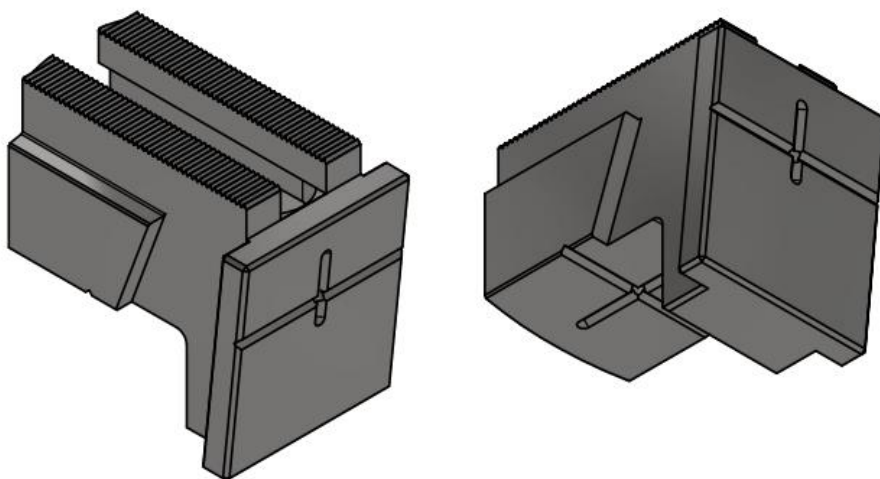
Obr. 29) Detailní řez spodního ventilu v jiné rovině

Velikost zdvihu pístu je vymezena velikostí výšky v pracovním prostoru válce mezi podstavou (1) a těsnícím mezikroužkem (7).

Funkční dutina sklíčidla je dána velikostí vnitřního průměru vodícího válce (14), který byl po řadě výpočtů navržen na velikost 50 mm.

6.1 Mazání mechanismu

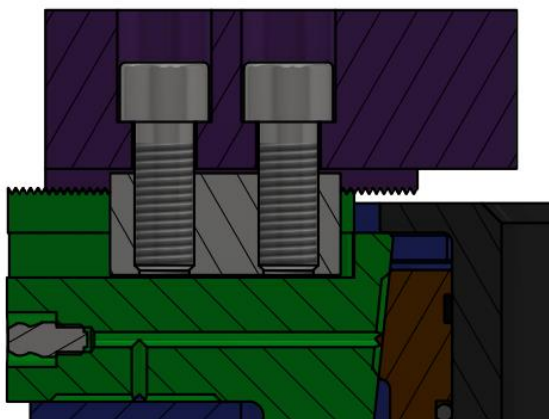
Mazání je provedeno na místech, kde dochází k vysokému působení tlaku a tření na pohybových, funkčních plochách. Jediným takto významně zatíženým místem je styk mezi nosiči čelistí a pístnicí. Mazání je provedeno pomocí vtlačení plastického maziva skrze maznice (9), které jsou umístěny centricky na každém nosiči. Rovnoměrné rozmístění maziva je provedeno pomocí mazacích kanálků, které jsou vyfrézovány na každém nosiči Obr. 30).



Obr. 30) Umístění a tvar mazacích kanálků

6.2 Upnutí čelistí

Jak bylo uvedeno výše upnutí je provedeno pomocí T-matic (12) a šroubů (11), které vyvíjejí upnutí pomocí silového styku a doplňuje to do kombinace zvolené drážkování $1,5 \times 60^\circ$, které působí tvarovým stykem. Toto drážkování je typické pro výrobce značky Kitagawa.



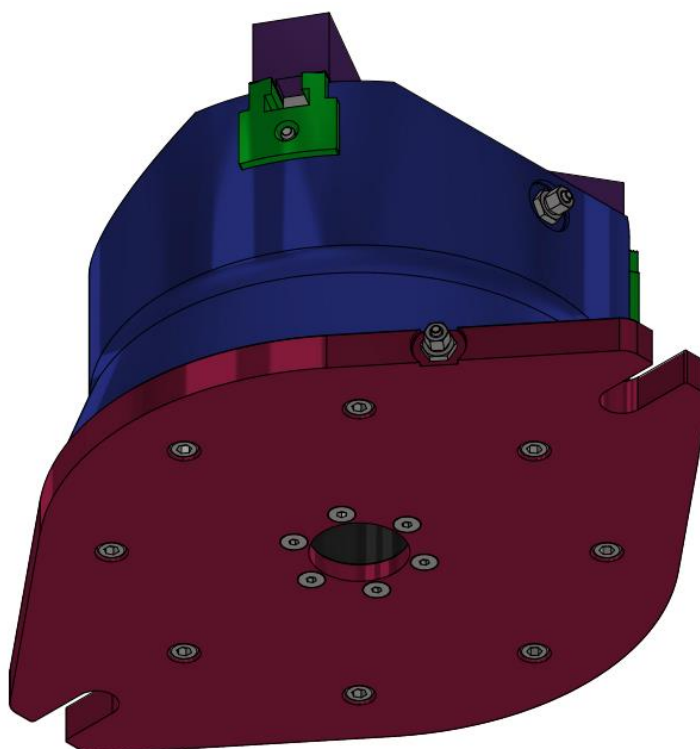
Obr. 31) Detailní řez upnutí čelistí

6.3 Upnutí ke stroji

Upnutí sklíčidla vychází z jeho podstaty využití. Stacionární sklíčidlo je užíváno tam, kde není dynamicky namáháno a je relativně v klidu. Taková sklíčidla najdou využití na frézovacích centrech nebo jiných strojích, které mají upínací stůl.

Takovéto stoly jsou vybaveny T-drážkami a s kombinací T-matic a vhodných šroubů jsme schopni upnout sklíčidlo k pracovnímu stolu.

Upnutí lze provést pomocí ustavení sklíčidla do dané polohy a jeho rotací okolo vlastní osy najít ideální umístění drážek podstavy vůči drážkám stolu. Poté se provlečou T-matice se šrouby skrze T-drážky stolu a dřík šroubu se vloží do drážky podstavy sklíčidla. Poté se šrouby utáhnou a dojde k zajištění polohy sklíčidla vůči stolu.



Obr. 32) Pohled na podstavu sklíčidla a drážky pro upnutí ke stolu stroje

6.4 Těsnění systému

Protože se v systému pracuje s tlakovým vzduchem musí být zajištěna určitá těsnost systému. Tuto těsnost dokážeme zvýšit pomocí prvků jako jsou těsnící O-kroužky, břitová těsnění atd.

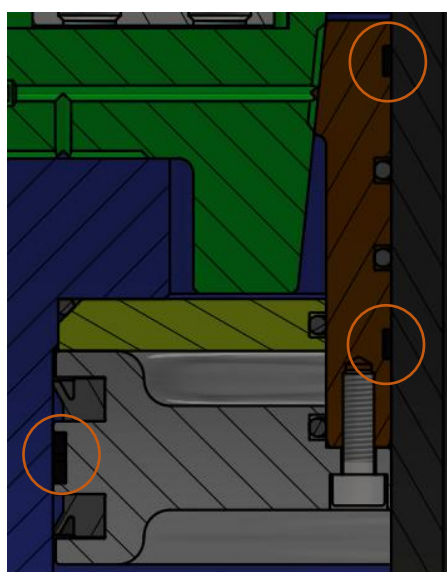
Pro naši aplikaci jsme zvolili jako majoritní skupinu těsnění O-kroužky ISO 3601-1, které máme uloženy jak na místech namáhaných staticky, dynamicky anebo axiálně, radiálně. O-kroužky mají výhodu, že jsou levné, drážka pro uložení nemusí být velká a jejich instalace je jednoduchá. Ale pro vnější těsnění pístu, kde by mohlo docházet k největším únikům tlakového vzduchu jsme zvolili břitové těsnění PK1 2000 1800 082 B0 200x8,25, které má lepší těsnící účinky, ale potřebuje větší drážku pro uložení.



Obr. 33) Detailní pohled na břitové těsnění (červené) a některé umístění O-kroužků (zelené)

6.5 Zajištění funkčnosti

Protože budou součásti ačkoli v malé míře deformovány, nechceme nikdy dosáhnout u pohyblivých součástí stavu styku kovu na kov. Proto zde byly dodány jako meziprvky iglidurové vodící kroužky, které budou sloužit jako prvek pro zabránění styku kovu s kovem tam, kde to nepožadujeme.

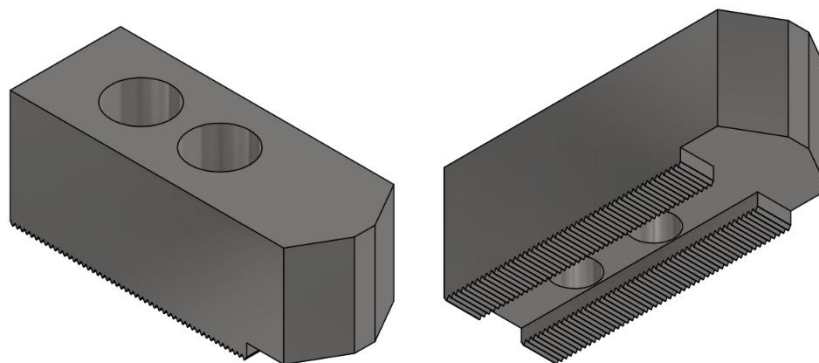


Obr. 34) Detailní řez umístění iglidurových kroužků

6.6 Možnosti úpravy čelistí

Model a konstrukce byla navržena pro měkké čelisti s drážkováním 1,5x60° KSJ-08H-80-P značky Kitagawa, ale kompatibilní je s druhy čelistí tohoto drážkování a daných parametrů.

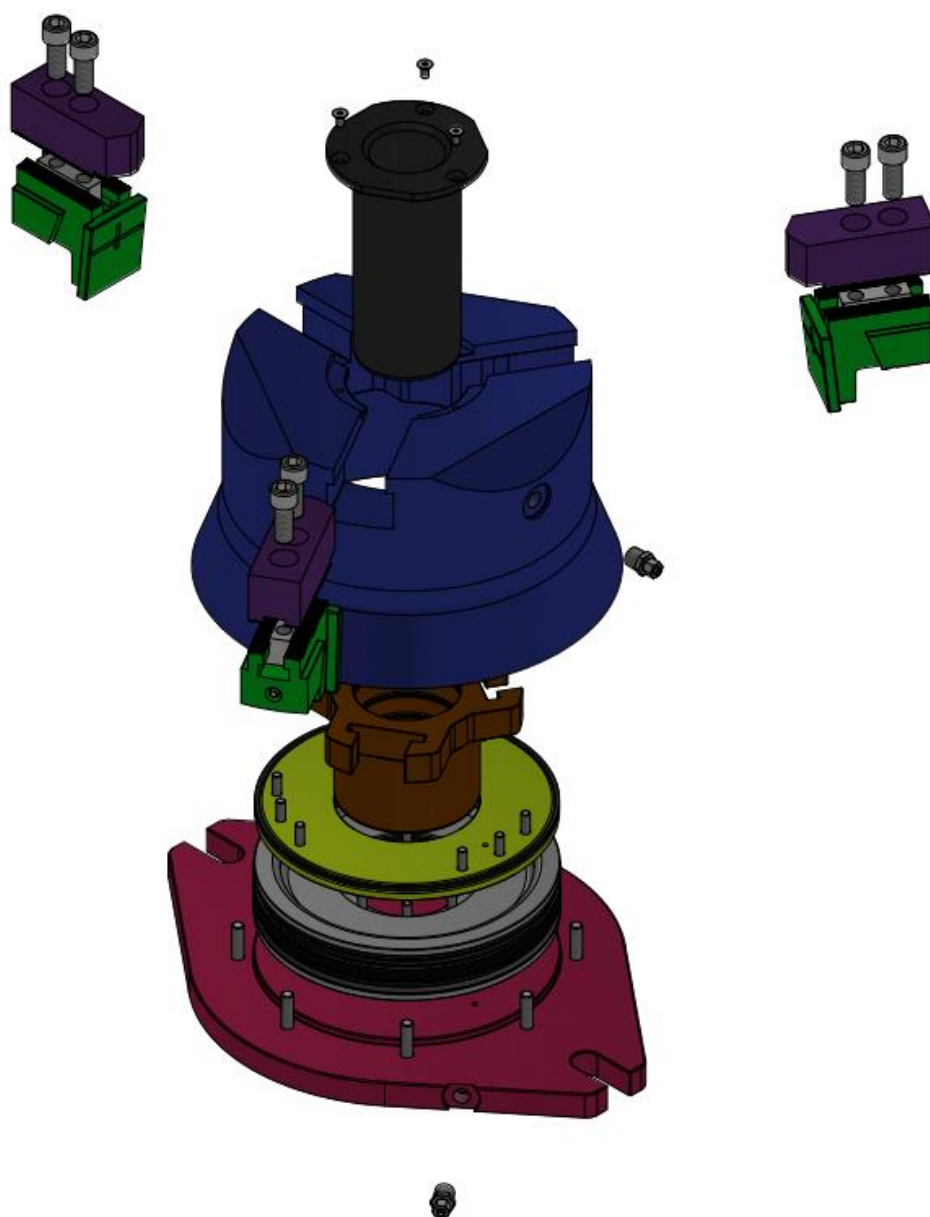
Měkké čelisti byly zvoleny s možností jejich obrobení na daný tvar, který bude kopírovat obrobek. Tento tvar může být rotační anebo tvarový.



Obr. 35) Neobrobený tvar čelistí KSJ-08H-80-P

6.7 Montáž sklíčidla

Prvním krokem je vložení nosičů čelistí (10) do vodících drážek v pneumatickém válci (5). Poté vrchním otvorem vložíme vnitřní vodící válec (14) a upneme ho pomocí sady 3 šroubů s kuželovou zápusťnou hlavou ISO 10642 - M5x10 (16). Do pístnice předpřipravíme těsnící O-kroužky (17) a iglidurové vodící kroužky (21). Tuto soustavu prvků vložíme spodem pneumatického válce (5) a přitom navedeme klínové drážky pístnice (15) na klín nosiče čelistí (10). Dalším krokem je umístění rohového O-kroužku (6) do pneumatického válce (5) a předpřipravení O-kroužku (8) do těsnícího mezikroužku (7). Poté těsnící mezikroužek (7) i s těsněním vložíme do pneumatického válce (5) a upneme ho pomocí sady 9 šroubů s kuželovou zápusťnou hlavou ISO 10642 - M6x25 (19). Další fází je vložení břitových těsnění (22), vodících iglidurových kroužků (24) a těsnícího O-kroužku (23) do pístu. Poté celou tuto sestavu vložíme do pneumatického válce (5) a upneme ji pomocí sady 8 šroubů s válcovou zápusťnou hlavou ISO 4762 - M6 x 20 (25) k pístnici (15). Dalším krokem je vložení axiálního těsnícího O-kroužku ISO 3601-1 do pneumatického válce (5) a vložení O-kroužku ISO 3601-1 do podstavu pneumatického sklíčidla (1). Poté podstavu pneumatického sklíčidla (1) upneme pomocí sady 8 šroubů ISO 4762 - M8 x 35 (3) s pružnými podložkami ČSN 02 1740-8 k pneumatickému válci (5). Mezi poslední operace patří montáž maznic (9) do nosičů čelistí (10) a montáž ventilu (18) jak upínacího, tak rozepínacího. Pro uvedení do provozu je nutná montáž upínacích čelistí. V našem případě byly zvoleny měkké čelisti KSJ-08H-80-P (13), které upneme pomocí celkově 6 zápusťných šroubů s válcovou hlavou ISO 4762 - M12 x 30 (11) s celkem 3 T-maticemi TNS-B10 (12) k nosiči čelistí (10). Před zahájením provozu je nutné důkladně namazat styčné plochy nosiče čelistí (10) a pístnice (15) skrze maznice (9) plastickým mazivem.



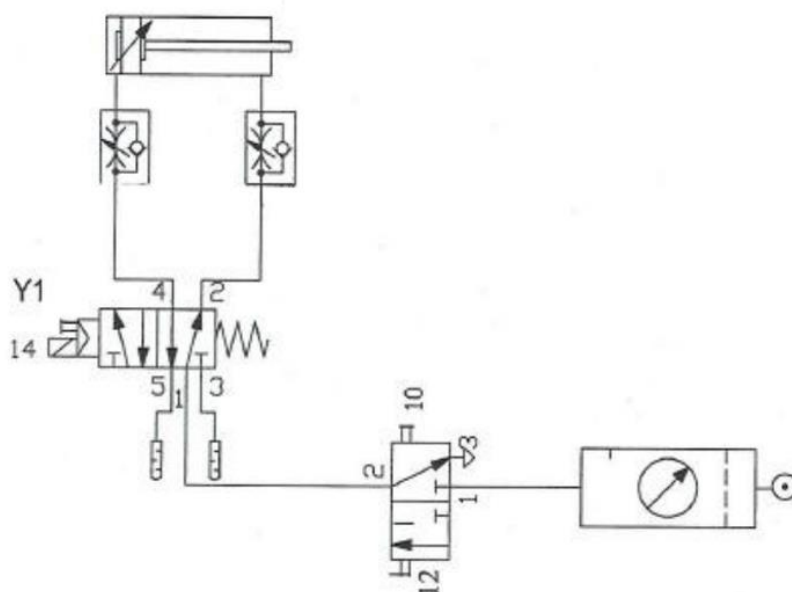
Obr. 36) Částečně rozložený model sestavy pneumatického stacionárního sklíčidla

7 POUŽITELNOST SKLÍČIDLA

Silová sklíčidla najdou využití především ve velkovýrobě, ale také v malosériové výrobě, kde urychlují pracovní časy a usnadňují práci obsluze. Navržené pneumatické stacionární sklíčadlo bude především využíváno na strojích, kde pracovní stůl stroje bude uzpůsoben pro upnutí pomocí T-matic se šrouby a rozměry stolu budou dostatečné pro bezpečné upnutí. Minimální možná rozteč šroubů s T-maticemi pro upnutí je 330 mm. Výška sklíčidla bez čelistí je 175 mm a s využitím zvolených měkkých čelistí KSJ-08H-80-P je 210 mm.

Pneumaticky ovládané prvky mají výhodu oproti hydraulicky ovládaným, protože přívod vzduchu je v dnešních novodobých firmách dostupný prakticky všude, takže není problém s dopravou tlakového vzduchu. Jediným úskalím by mohla být velikost tlaku dopravovaného vzduchu, který se musí před uvedením do provozu zkontrolovat, zda je dostatečný. Pneumatický mechanismus má také výhodu z ekologického hlediska, kde při úniku vzduchu nedochází ke znečištění prostředí. Hydraulické mechanismy se s tímto problémem potýkají, a navíc není vždy možný přístup tlakového hydraulického oleje. Zato mají výhodu ve velikosti upínací síly, v její následné korekci a tuhosti upnutí díky velmi malé stlačitelnosti kapaliny.

Provoz sklíčidla bude možný při zapojení jako na Obr. 37), nebo jiném, které dosáhne podobných výsledků. Samotný pohon sklíčidla bez pneumatického obvodu není možný. Zapojení viz. Obr. 37) řeší problémy jak s regulací rychlosti upnutí, tak rozepnutí (škrťací ventily). Možnost změny směru vstupu tlakového vzduchu do válce (pěticestný dvoupolohový ventil). Při poloze viz. Obr. 37) bude vstupovat tlakovou hadicí (1) do pěticestného ventilu tlakový vzduch, který dále pokračuje skrze hadici (2) přes jednocestný ventil do pravé části válce. Přebytečný vzduch na levé straně válce pokračuje přes škrťací ventil do hadice (4), dále do pěticestného ventilu a z něj do hadice (5), která je odpadovou hadicí propojená s atmosférou. Pohyb pístu by se změnil pomocí změny polohy ventilu směrem doprava. Tím pádem by byla hadice (4) vstupní a hadice (3) odpadní.



Obr. 37) Schéma možného zapojení pneumatického sklíčidla v obvodu [25]

8 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Výrobou silových sklíčidel se zabývá široká část firem jako např. Kitagawa, Bison, Schunk atd. Většina z těchto výrobců volí tak jako my upínání pomocí klínového mechanismu, který je hlavním převodníkem síly. Zmíněný pákový mechanismus je méně častý a spíš najde využití u sklíčidel se strojním upínacím válcem (externě).

Zvolený způsob konstrukce u pneumatického pístu byl navržen tak, aby docházelo k co nejmenšímu úniku tlakového vzduchu na druhou stranu pístu. Toto konstrukční řešení zahrnuje část, kde koncové dorazy jsou doteky pneumatického pístu s podstavou nebo s těsnicím mezikroužkem. Otázkou by zde bylo, zda při vysokém využívání těchto doteků by nedocházelo k otlačení a deformaci hliníkového pístu, zejména při rozepínání pro styk s těsnicím mezikroužkem.

Výpočet na rychlost upínání byl uveden pro maximální rychlost upnutí tzv. pro užití pneumatického obvodu bez škrtícího ventilu. Tento ventil nám škrtí průchod vzduchu (tok) z válce, a proto dochází ke snížení rychlosti jak upínání, tak rozepínání.

Otázkou by zde ještě byla volba typu vstupního ventilu. Byl zvolen ventil, který dosáhne upnutí hadice tak že se narazí díra hadice na trn ventilu a dotáhnutím převlečné matice dojde k sevření hadice k trnu. Toto provedení dosahuje vysokých těsností, avšak je zde nutná určitá práce pro montáž a demontáž. Další možnou volbou by byl typ pneumatického ventilu ve formě rychlospojky, který je majoritně užíván u různých pneumatických náradí, a proto by byla jeho kompatibilita s prostředím vyšší.

Další možnou změnou by mohla být volba jiného typu drážkování pro tvarový styk čelistí s nosiči čelistí a tím i záměna zvoleného typu čelistí.

Obrábění čelistí by mohl být problém při nutnosti vysoké soustřednosti rotačního tvaru obrobených čelistí s osou pneumatického sklíčidla, protože jeho ustavení není přesně dáno polohou na pracovním stole jako např. u vřetena soustruhu.

9 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byla konstrukce a vlastní návrh pneumatického stacionárního sklíčidla a s tím propojená rešerše v oblasti upínání obrobků a strojních svěráků pro rotační obrobky. Z těchto poznatků, výpočtů a návrhů vytvořit funkční modely sklíčidla v libovolném CAD softwaru a z něj vytvořit výkresovou dokumentaci vybraných dílů a sestavy.

První část se zabývala dříve zmíněnou rešerší v oblasti upínání rotačních obrobků, kde byly rozebrány základní typy upínání a některé specifické a méně univerzální typy upínání.

Další kapitola se zabývala samotnou volbou a návrhy, kterými jsme směřovali naši konstrukci a z toho vycházející využití pro praxi. Všechny tyto volby byly řízeny pohledem pro univerzálnost a kompaktnost upínače. Bylo zvoleno řešení s dutinou, které značně ovlivnilo výpočet a konstrukci. Typ hlavního mechanismu upínání byl zvolen jako klínový, který má velmi dobré vlastnosti jako převodník síly.

Výpočet se zabýval především návrhem nutné velikosti pneumatického pístu, aby bylo dosaženo zadané velikosti síly 80 kN. Tento postup byl provázen ještě výpočtem velikosti sklonu klínu, který byl navržen tak, aby byl samosvorný a při výpadku energie nedošlo k rozepnutí upínače a tím možnému úrazu obsluhy nebo poškození stroje. Následujícím krokem byl výpočet zdvihu pístu, který vycházel ze zadané velikosti zdvihu na čelist a úhlem sklonu klínu. Dále byla vypočtena maximální upínací rychlost, která je podmíněna tím, že se neužije škrtícího ventilu. Během výpočtu rychlosti upnutí byl spočten objem vzduchu převzatý z atmosféry, který je nutný pro jedno upnutí (ztráty netěsnostmi byly zanedbány). Dále byly vypočítány šrouby v podstavě sklíčidla a v pístu. Tyto šrouby byly dimenzovány s ohledem na těsnost, kdy požadujeme neustálý přítlak spojovaných součástí a vzhledem k MSP (meznímu stavu pružnosti).

V kapitole se samotnou zvolenou konstrukcí byly komentovány a popisovány určité součásti a jejich význam. Popis se také týkal řady tvarových prvků a součástí díky kterým je zajištěna funkce. Byly předvedeny např. mazací kanálky na nosičích čelistí nebo upínací drážky pro upnutí k pracovnímu stolu. Na závěr byl v této kapitole okomentován postup montáže navrženého sklíčidla.

Poslední část popisovala použitelnost sklíčidla v praxi a jeho možné zapojení do pneumatického obvodu s pěticestným dvoupolohovým ventilem.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] PETRYCH, Jan. Konstrukce soustružnického sklíčidla se strojově nastavitelnou excentricitou. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zavprace/detail/117391>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jiří Tůma.
- [2] BISON, Silová sklíčidla se strojním ovládáním a upínací válce [online]. In: . [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: https://static.viaaurea.eu/d/zjp_cz/files/360.pdf/s-51faff2820d
- [3] KAMENICKÁ, Pavlína. *Způsoby upínání nástrojů a obrobků* [online]. Brno, 2013 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65180. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.
- [4] JEŘICHOVÁ, Miroslava. Mechanické upínací prvky přípravků [online prezentace]. 2013 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11508704/>
- [5] ČÍPOVÁ, Ivana. Příručka základů soustružení [online-elektronická učebnice]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U03_Prirucka_zakladu_soustruzeni.pdf
- [6] KROUPA, Tomáš. Upínací prostředky rotačních součástí – sklíčidla, upínací desky [online]. Plzeň, 2012 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Bs1CYRbQs3wJ:https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/3006/1/BP%2520Tomas%2520Kroupa.pdf+%&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz&client=opera>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [7] Přípravky 4 [online-prezentace]. In: . [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/4071374/>
- [8] Silová sklíčidla a příslušenství [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.kitagawa.global/cz>
- [9] Přesné samocentrovací soustružnické sklíčidlo 160 mm, 6 čelistí, DIN 6350. In: Prima dílna [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.primadilna.cz/Presne-samocentrovaci-soustruznicke-sklicidlo-160-mm-6-celisti-DIN-6350-d8467.htm>
- [10] BORO VAN, Petr. Upínání rotačních obrobků – 1. část [online]. In: . 2012 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/upinace-nastroju-6-upinani-rotacnich-obrobku-1-cast_8502.html
- [11] KREJČÍ, Martin. Upínací prostředky rotačních součástí – sklíčidla, upínací desky [online]. Plzeň, 2015 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/20247/1/BP_KREJCI.pdf. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc. Ing. Zdeněk HUDEC, CSc.
- [12] MARTINEC, Josef. Upínání obrobků, Brno, 2020, 41 s., Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/123896>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Vladimír Dokoupil.
- [13] JAROŠ, Zbyněk. Upínání obrobku na soustruhu [online]. In: . [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://adoc.pub/upinani-obrobk-na-soustruhu.html>

- [14] AMPAPA, Libor. Upínání obrobků u třískového obrábění [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://theses.cz/id/2zv9xs/zaverecna_prace.txt. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Votava Ph.D.
- [15] Tlačné kleštiny. In: Koran [online]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.koran-rankov.cz/korafix-a-quadro.html>
- [16] MIKULKA, T. Možnosti upínání obrobků u obráběcích strojů v soudobé praxi, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2016, 73 s., Vedoucí bakalářské práce Doc. Ing. Radek Knoflíček Dr.
- [17] Upínání soustružnických nožů a obrobků [online]. In: . [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1222>
- [18] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. STROJNICKÉ TABULKY: Pomocná učebnice pro školy technického zaměření. Druhé doplněné vydání. Praha 1, Biskupský dvůr 5: ALBRA-pedagogické nakladatelství, Úvaly, Havlíčkova 197, 2005. ISBN 80-7361-011-6.
- [19] Pevná luneta. In: Náradí Vítek [online]. [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.naradi-vitek.cz/Pevna-luneta-pro-soustruh-TU-3008>
- [20] Posuvná luneta PROXXON 24406 pro PD 400. In: Kobotec [online]. [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.kobotec.cz/posuvna-luneta-proxxon-24406-pro-pd-400--kod-zbozi--24406/>
- [21] SVRČINA, Jozef. Upínání obrobků – frézování [online-prezentace]. In: . Opava, 2011/12 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablon/Praxe_II_a_III/VY_52_INOVACE_H-02-25.pdf
- [22] SCHUNK: Stacionární sklíčidla pro soustruhy [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/upinaci-technika/category/upinaci-technika/obrabeci-centrum/stacionarni-sklicidla-pro-soustruhy/
- [23] Kovosvit MAS [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcv-1000-p8.html#technicaldata>
- [24] SHIGLEY, Joseph E a Richard G BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [25] NOVOTNÝ, CSc., Doc. Ing. František a Ing. Marcel HORÁK, PhD. Pneumatické pohony [online]. In: . s. 1-23 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: http://www.ksr.tul.cz/ksr/podklady/ARS_PNEUPOHONY.pdf

11 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1 Seznam tabulek

Tab. 1) Zjednodušená tabulka parametrů tří sklíčidel s vnitřním upínacím mechanismem od značky Bison [2]	18
Tab. 2) Část tabulky technických parametrů frézovacího stroje MCV 1000 s charakteristikami pracovního stolu [23]	34
Tab. 3) Součinitele smykového tření [18]	35

11.2 Seznam obrázků

Obr. 1) a) silové dvoučelist'ové sklíčidlo, b) silové tříčelist'ové sklíčidlo, c) silové čtyřčelist'ové sklíčidlo [8], d) manuální šestičelist'ové sklíčidlo [9]	20
Obr. 2) Částečný řez manuálním sklíčidlem [10]	21
Obr. 3) Hydraulické sklíčidlo Kitagawa BR08 [8]	21
Obr. 4) Pneumatické sklíčidlo UPR 600 [8]	22
Obr. 5) Membránové sklíčidlo SMW Autoblok [10]	22
Obr. 6) a) univerzální lící deska, b) magnetická lící deska [14]	23
Obr. 7) Kleštinový upínač pro kleštiny DIN 6343 [15]	24
Obr. 8) Kuželový trn pevný [13]	25
Obr. 9) Kuželový trn se závitem [13]	25
Obr. 10) Trn s rozpínacím pouzdrem [17]	26
Obr. 11) Rozpínací trn s pružným elementem [13]	26
Obr. 12) Typy středících důlků a) R s rádiusem, b) A bez ochranného zahloubení, c) B s ochranným zahloubením [18]	27
Obr. 13) Upnutí obrobku mezi hroty [17]	27
Obr. 14) a) Pevná luneta [19], b) Posuvná luneta proxxon 24406 [20]	28
Obr. 15) a) Prizmatický svěrák, b) Kombinace sklopného a otočného svěráku, c) Plochý svěrák [21]	29
Obr. 16) a) silové sklíčidlo s pákovým mechanismem [1], b) silové sklíčidlo s klínovým mechanismem a interním upínacím válcem [22], c) externí hydraulický upínací válec s připojenou upínací tyčí ke sklíčidle [8]	31
Obr. 17) Schématické znázornění vnitřních upínacích mechanismů a) pákový mechanismus, b) klínový mechanismus	32
Obr. 18) Měkké čelisti KSJ-10-P (ukázka drážkování) [8]	32
Obr. 19) a) Průchozí silové sklíčidlo, b) Neprůchozí silové sklíčidlo [8]	33
Obr. 20) Frézovací stroj s vertikálním uložením vřetene MCV 1000 s možností volby vyšších maximálních otáček v závislosti na výbavě (POWER=8000 min ⁻¹ , RAPID=24 000 min ⁻¹) [23]	33
Obr. 21) Schéma silového zatížení klínu	36
Obr. 22) Schématické znázornění průměrů pneumatického pístu	37
Obr. 23) Schématické znázornění rozměrů pro výpočet velikosti zdvihu pístu	38

Obr. 24) Zjednodušená schémata stavových změn vzduchu v pneumatickém válci při upínání a) Izochorický děj, b) Izobarický děj, c) Izochorický děj	39
Obr. 25) P-V diagram stavů vzduchu při upínání v pneumatickém válci.....	39
Obr. 26) Schématické znázornění výšky a objemu v a) dolní úvrati, b) horní úvrati...	40
Obr. 27) Schématické znázornění tvaru komolého kužele a jeho rozměry	44
Obr. 28) Řez modelem sklíčidla	47
Obr. 29) Detailní řez spodního ventilu v jiné rovině	47
Obr. 30) Umístění a tvar mazacích kanálků	48
Obr. 31) Detailní řez upnutí čelistí	48
Obr. 32) Pohled na podstavu sklíčidla a drážky pro upnutí ke stolu stroje	49
Obr. 33) Detailní pohled na břitové těsnění (červené) a některé umístění O-kroužků (zelené).....	50
Obr. 34) Detailní řez umístění iglidurových kroužků.....	50
Obr. 35) Neobrobený tvar čelistí KSJ-08H-80-P.....	51
Obr. 36) Částečně rozložený model sestavy pneumatického stacionárního sklíčidla ..	52
Obr. 37) Schéma možného zapojení pneumatického sklíčidla v obvodu [25]	53

11.3 Seznam zkratk a symbolů

F_k	[N]	Požadovaná upínací síla
$F_{3,4,5,6}$	[N]	Složky zatížení
F_t	[N]	Třecí síla
F_n	[N]	Normálová síla
F_p	[N]	Síla od pístu
F_{pr}	[N]	Velikost síly se ztrátami
F_T	[N]	Odporová síla systému
F_{os}	[N]	Velikost síly v ose podstavy/pístu
F_i	[N]	Síla předpětí
$p_{nap.}$	[MPa]	Napájecí tlak
p_{prov}	[MPa]	Provozní tlak
Δp	[MPa]	Tlaková ztráta
p_{prac}	[MPa]	Pracovní tlak
$p_{2př.}$	[MPa]	Tlak pro překonání statických odporů
$p_{1,2,3,4}$	[MPa]	Tlak ve stavu 1,2,3,4
$V_{1,2,3,4}$	[m ³]	Objem ve stavu 1,2,3,4
$T_{1,2,3,4}$	[K]	Teplota ve stavu 1,2,3,4
$t_{prov,}$	[°]	Provozní teplota
T_0	[K]	Bod mrazu
D_1	[mm]	Vnitřní průměr pístu
D_2	[mm]	Vnější průměr pístu

D_3	[mm]	Vnější průměr vodícího válce
d_v	[mm]	Vnitřní průměr ventilu
d	[mm]	Vnější průměr šroubu
D_{k1}	[mm]	Průměr 1. komolého kužele
D_{k2}	[mm]	Průměr 2. komolého kužele
d_{vrt}	[mm]	Průměr vrtané díry
h_1	[mm]	Výška pracovního objemu v dolní úvrati
h_2	[mm]	Výška pracovního objemu v horní úvrati
S_{pis}	[mm ²]	Funkční plocha pístu při upínání
A_s	[mm ²]	Výpočtový průřez šroubu
ΔV_{abs}	[m ³]	Objem pracovního vzduchu nutného dodat pro jedno upnutí
ΔV_{atm}	[m ³]	Objem napájecího vzduchu nutného dodat pro jedno upnutí
v_4	[m ³ /kg]	Měrný objem před ventilem
v_1	[m ³ /kg]	Měrný objem za ventilem
m_1	[kg]	Hmotnost ve válci před upnutím
m_4	[kg]	Hmotnost ve válci po upnutí
Δm	[kg]	Rozdíl hmotnosti vzduchu ve válci před a po upnutí
\dot{m}	[kg/s]	Hmotnostní tok vzduchu ventilem
$l_{šroub}$	[mm]	Délka šroubu
l_g	[mm]	Délka dříku šroubu
l_b	[mm]	Délka závitové části šroubu
l_s	[mm]	Svěrná délka šroubu
$l_{1,2,3}$	[mm]	Délka komolého kužele 1,2,3
t_{k1}	[mm]	Tloušťka 1. příruby
M_{ut}	[N/m]	Utahovací moment
S_p	[mm ²]	Zkušební napětí
K	[-]	Součinitel úpravy povrchu šroubu
$E_{ocel,hliník}$	[MPa]	Modul pružnosti v tahu pro ocel, hliník
ΔR	[mm]	Zdvih na čelist
α	[°]	Úhel sklonu klínu
β	[°]	Polovina vrcholového úhlu komolého kužele
f	[-]	Součinitel smykového tření
β_1	[-]	Tlakový poměr
β_{kr}	[-]	Kritický tlakový poměr
r	[J/kg·K]	Měrná plynová konstanta
w	[m/s]	Rychlost proudění vzduchu ventilem
κ	[-]	Poissonova konstanta
t_{up}	[s]	Čas upnutí

i	[-]	Počet šroubů
k_s	[N/mm]	Tuhost šroubu
$k_{kom1,2,3}$	[N/mm]	Tuhost komolého kužele 1,2,3
k_{cel}	[N/mm]	Celková tuhost přírub
c	[-]	Tuhostní konstanta
$k_{sevř.}$	[-]	Bezpečnost vůči zániku sevření
k_{MSP}	[-]	Bezpečnost vůči MSP (meznímu stavu pružnosti)

12 SEZNAM PŘÍLOH

- Výkres sestavy sklíčidla: BP-PSS-2021-00
- Výrobní výkres nosiče čelistí: BP-PSS-2021-01
- Výrobní výkres pístnice: BP-PSS-2021-02
- Výrobní výkres pneumatického pístu: BP-PSS-2021-03